

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Механіко-машинобудівний інститут  
Кафедра конструювання машин**

До захисту допущено:  
В.о.завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Олександр ОХРИМЕНКО  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проєкт  
на здобуття ступеня бакалавра  
за освітньо-професійною програмою «Інструментальні системи та  
технології формоутворення деталей»  
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
на тему: «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення  
основи маніпулятора»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи МІ-61-1

Устимчук Давид Олександрович

Керівник:

Доцент, кандидат технічних наук,

Красновид Дмитро Олександрович

Рецензент:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проєкті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

**Пояснювальна записка**  
**до дипломного проєкту**  
**на тему: «Конструкторсько-технологічне забезпечення**  
**виготовлення основи маніпулятора»**

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Кафедра конструювання машин**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)  
Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»  
Освітньо-професійна програма «Інструментальні системи та технології  
формування деталей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр ОХРИМЕНКО

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Устимчуку Давиду Олександровичу**

1. Тема проєкту «Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення основи маніпулятора», керівник проєкту Красновид Дмитро Олександрович, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «20» травня 2020 р. №1120
2. Термін подання студентом проєкту 10 червня 2020
3. Вихідні дані до проєкту Матеріал деталі: АМг 5; тип виробництва –одиничне.
4. Зміст пояснювальної записки 1. Аналітичний огляд конструкцій маніпуляторів. 2. Розроблення конструкції основи маніпулятора. 3. Опис конструкції основи маніпулятора. 4. Аналіз інструментів для виготовлення основи. 5. Розробка різального інструменту. 6. Технологія виготовлення інструменту. 6. Пристосування. 7. Виготовлення на верстатах з ЧПК. 8. Симуляція. 9. 3D-друк прототипу.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) 1 Маніпулятори. 2 Основа маніпулятора. 3 Огляд інструментів. 4 Креслення інструменту. 5 Технологія. 6 Технологічне пристосування. 7 Виготовлення на верстатах з ЧПК. 8 Симуляція та 3D-друк.
6. Дата видачі завдання 13 квітня 2020

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Конструкція основи маніпулятора	13.04.20-19.04.20	
2	Технологія виготовлення основи	20.04.20-26.04.20	
3	Вибір інструмента	27.04.20-3.05.20	
4	Проектування інструмента	4.05.20-10.05.20	
5	Технологія виготовлення інструмента	4.05.20-10.05.20	
6	Конструкція пристрою для свердління отворів	10.05.20-20.05.20	
7	Виготовлення на верстаті з ЧПК	20.05.20-01.06.20	
8	Симуляція та 3D-друк	01.06.20-06.06.20	

Студент

Устимчук Д. О.

Керівник

Красновид Д. О.

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Олександр ОХРИМЕНКО

"\_\_" \_\_\_\_ "20\_\_ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ ДО ПРОЕКТУ	
Тема проекту	Конструкторсько-технологічне забезпечення виготовлення основи маніпулятора
Зміст проекту	Розробити основу маніпулятора для роботизованої платформи
Технічні умови до проекту	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Збірна конструкція основи</li><li>2. Матеріал бази – алюміній АМг5</li><li>3. Матеріал зубчастого колеса – сталь 45</li><li>4. Зовнішній діаметр бази – 190 мм</li><li>5. Діаметр під кріплення – 210 мм</li><li>6. Діаметр ділильного колеса – 160 мм</li><li>7. Кріплення зубчастого колеса до бази – механчне.</li></ol>
Особливі вимоги	Кріплення зубчастого колеса за допомогою центрувальних циліндричних штифтів та болтів з діаметром 7 мм з углибленням під ключ в діапазоні довжин 30...40 мм.
ЛИСТ	ЗМІСТ ІЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРІАЛУ
СП	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Огляд конструкцій маніпуляторів та шляхи їх удосконалення</li><li>2. Збірна конструкція основи: база та зубчасте колесо з внутрішнім зачепленням</li></ol>

ОП	1. База маніпулятора 2. Інструмент для виготовлення бази на верстаті з ЧПК
ТС	1. Базовий технологічний процес виготовлення деталі 2. Технологія виготовлення інструмента для оброблення деталі на верстаті з ЧПК
КС	1. Інструмент для виготовлення бази. 2. Переналагоджуваний кондуктор з ділильним пристосуванням.
СС	Розробка керуючої програми для виготовлення на верстаті з ЧПК
ДС	Визначення навантаження здійснюваного маніпулятором на основу
Студент <u>Устимчук Д.О.</u> Керівник <u>К.т.н., доцент Красновид Д.О.</u>	
<div> <div>дата "___" _____"20__ р</div> <div>дата "___" _____"20__ р</div> </div>	
<div> <div> Прийняті позначення:  СП – стан питання  ОП – об'єкт проектування  ТС – технологічна складова </div> <div> КС – конструкторська складова  СС – спеціальна складова  ДС – дослідницька складова </div> </div>	

## **АНОТАЦІЯ**

Проект присвячений розробленню конструкції основи маніпулятора. За результатами проведеного аналізу елементів конструкцій було обрано оптимальний варіант.

Розроблена технологія виготовлення бази основи маніпулятора. Розраховані припуски, режими різання для інструменту, який використовується. Розроблено інструмент для оброблення поверхонь бази основи маніпулятора. Створено технологічний процес обробки інструменту. Створено пристосування. Проведено симуляції навантажень та створено керуючі програми для обробки на верстатах з ЧПК. Створено керуючу програму під 3D-друк. Модель інструмента та основи були виконані в програмному середовищі Autodesk Inventor.

Ключові слова: маніпулятор, основа маніпулятора, різальна головка, твердосплавні пластини, верстат з ЧПК.

## **ANNOTATION**

The project is devoted to the development of the design of the base of the manipulator. According to the results of the analysis of structural elements, the optimal option was chosen.

The technology of manufacturing the base of the manipulator base has been developed. Calculated allowances, cutting modes for the tool used. A tool for surface treatment of the base of the manipulator has been developed. The technological process of tool processing is created. A technological device has been created. Load simulations were performed and control programs for CNC machining were created. A control program for 3D printing has been created. The tool model and basics were implemented in the Autodesk Inventor software environment.

Key words: manipulator, manipulator base, cutting head, hard-alloy plates, CNC machine.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД МАНІПУЛЯТОРІВ ТА РОБОТІВ .....	11
1.1 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАНІПУЛЯТОРІВ..	11
1.1.1 Основні визначення .....	11
1.1.2 Класифікація маніпуляторів та промислових роботів .....	12
1.1.3 Основні технічні характеристики промислових роботів. ....	15
1.2 СТРУКТУРА ТА СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ МАНІПУЛЯТОРІВ .....	20
1.2.1 Структура маніпуляторів.....	20
1.2.2 Механізми маніпуляцій роботів .....	23
1.3 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ВИДИ ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ .....	25
1.3.1 Означення та класифікація захоплювальних пристроїв .....	25
1.3.2 Складові елементи захоплювальних пристроїв та їх призначення	27
2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ .....	32
3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВИ МАНІПУЛЯТОРА .....	39
3.1 Вибір та обґрунтування матеріалів конструкції.....	39
3.2 Конструкція основи маніпулятора.....	40
3.3 Технологія виготовлення бази.....	41
4 ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ОСНОВИ.....	48
4.1 Огляд інструментів для отворів великого діаметру.....	48
4.2 Обґрунтування вибору конструкції інструменту .....	57
5 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ .....	58
5.1 Вибір заготовки.....	58
5.2 Базовий технологічний маршрут виготовлення .....	59
5.3 Розрахунок припусків на механічну обробку .....	60
5.4 Таблиця технологічного процесу.....	63
5.5 Розрахунок режимів різання.....	65
6 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРИСТОСУВАННЯ .....	69
6.1 Концепція та компоненти .....	69
6.2 Визначення зусиль затиску заготовки .....	72
7 ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК .....	74
8 СИМУЛЯЦІЯ В CAD/CAM СИСТЕМАХ.....	82



9	СТВОРЕННЯ ПРОТОТИПУ НА 3D ПРИНТЕРІ .....	85
	ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	89
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	90
	ДОДАТКИ.....	91

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## ВСТУП

Освоєння космосу завжди було мрією людства. Спочатку недосяжною, а з розвитком технологій – здійсненою. Рік за роком людина все більше дізнається про Всесвіт. Спочатку було здійснено запуск супутника «Спутник-1», потім перший політ людини у космос, висадка на Місяць та багато інших цілей було досягнуто людством протягом останніх 60-ти років.

Сьогодні поставлено нову ціль – колонізувати інші планети, зокрема, нашого сусіда - планети Марс. Створено багато наукових центрів, гуртків та міжнародних конкурсів. Одним з таких конкурсів є проект «European Rover Challenge» (ERC), основною метою якого є популяризація космонавтики в країнах Європи, а також пошук талановитих студентів.

Отримавши запрошення на участь в ERC (Додаток А), було вирішено присвятити свій дипломний проєкт саме вивченню даної тематики.

Метою роботи є створення прототипу основи маніпулятора, який буде кріпитися на роботизовану платформу, для подальшої участі в ERC.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД МАНІПУЛЯТОРІВ ТА РОБОТІВ

## 1.1 ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАНІПУЛЯТОРІВ

### 1.1.1 Основні визначення

**Промисловий робот (ПР)**— це багатозадачний пристрій, який має в собі дві складові: механічного маніпулятора та систему керування, яку можна програмно змінювати, ПР використовується для переміщення в просторі об'єктів та виконання різних виробничих процесів.

Таким чином ПР мають механічні пристрої, різних виконавчих приводів та сенсорів, які забезпечують потрібну швидкість і точність переміщення робочого органа, апаратів керування приводами з силовими перетворювачами та пристроєм програмного керування.

Промислові роботи мають велике значення для автоматизованих гнучких виробничих систем, які дають змогу підвищити продуктивність праці. Типовим застосуванням ПР є здійснення таких операцій, як фарбування, складання, зварювання, пакування, контроль продукції та випробовування, які потрібно виконати з високою швидкістю, точністю та надійністю.

**Маніпулятор** – пристрій або машина, що керується для здійснення рухових функцій, аналогічних руці людини при перенесенні об'єктів у просторі, що має робочий орган.

В залежності від типу систем керування поділяють маніпулятори з ручним та автоматичним керуванням.

Маніпулятори ручного типу керування приводять у рух робочий орган (РО) завдяки оператору, який діє на ланки механізму керування.

Маніпулятори з автоматичним типом керування вузли виконавчого механізму рухаються за допомогою двигунів, які працюють за вже раніше зробленою програмою.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

**Автооператор** – це маніпулятор, який використовують в машинах-автоматах, котрі неухильно виконують рухи по створеній програмі і оперують об'єктами по зазначеному циклу машини.

Використовують автооператори для автоматизації повторюваних переміщень об'єктів в умовах виробничих ліній, наприклад, автоматична установка заготовки на верстаті та видалення готової деталі [1].

### 1.1.2 Класифікація маніпуляторів та промислових роботів

Різні аспекти використання ПР розглядаються, загалом, в межах типових проектів промислового виробництва: за існуючих вимог, обирається оптимальний варіант, який підходить за типом, кількість робіт та питання їх впровадження у виробничий процес.

У виробництві ПР здібні виконувати основні і допоміжні технологічні операції.

До основних відносяться: формоутворювальні, операції зміни лінійних розмірів заготовки та ін.

Допоміжними технологічними операціями є транспортні операції, завантаження та розвантаження технологічного обладнання. Такі задачі вирішують за допомогою мобільних роботів.

Таким чином класифікація маніпуляторів та ПР визначаються особливостями їх використання.

Маніпулятори можна класифікувати по таким признакам:

- **За характером робіт:**
  - Універсальні — для різних операцій разом з іншим обладнанням;
  - Спеціалізовані — виконує одну операцію з кількох можливих з різним обладнанням;
  - Спеціальні — робить одну операцію з одним видом обладнання.

- **По способу керування:** з ручним та автоматичним (з програмним, адаптивним або інтелектуальним управлінням).
- **За рівнем досконалості і видам систем керування** ділять на три покоління:
  - роботи, котрі працюють по раніше написаній програмі;
  - адаптивні роботи, що мають гнучкі програми і змінюють характер роботи в залежності від параметрів зовнішнього середовища;
  - інтелектуальні роботи, які можуть отримати і логічно оцінити навколишні обставини і виконувати рухи, для досягнення заданої мети.
- **За галуззю застосування і видом виробництва**
  - ливарні;
  - нанесення покриттів;
  - ковальсько-пресові;
  - автоматичного контролю;
  - зварювальні;
  - складальні;
  - механічної обробки;
  - транспортно-складські роботи;
  - термообробка;
  - інші.
- **За швидкістю рухів:**
  - Мала швидкість – до 0.5 м / с;
  - Середня швидкість – до 1 м/с;
  - Висока швидкість – понад 1 м/с.
- **За точністю рухів:**
  - мала точність – при лінійній похибці від 1 мм і більше;
  - середня точність – від 0,1 до 1 мм;
  - висока точність – менше 0,1 мм.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- **За видом технологічних операцій:**
  - Виконують основні операції;
  - Виокують допоміжні операції, обслуговування технологічного обладнання.
- **За мобільністю:**
  - Стаціонарні (вбудовані в обладнання, підлогові та підвісні);
  - Пересувні.
- **За параметрами робочої зони:**
  - Прямокутна;
  - Циліндрична;
  - сферична;
  - кутова (ангулярна);
  - різні їх комбінації.
- **За кількістю ступенів рухомості:**
  - з двома ступенями рухомості;
  - з трьома ступенями рухомості;
  - з чотирма ступенями рухомості;
  - більше чотирьох.
- **За вантажопідйомністю:**
  - Надлегкі – до 1 кг;
  - Легкі – від 1 до 10 кг;
  - Середні – від 10 до 200 кг;
  - Важкі – від 200 до 1000 кг;
  - Надважкі – понад 1000 кг.

Для виконання різноманітних виробничих процесів в певних умовах виробництва вибираються відповідні типи роботів, що можуть утворювати робототехнічні комплекси [1].

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.1.3 Основні технічні характеристики промислових роботів.

Здатність маніпуляторів до роботи можна охарактеризувати рядом технічних характеристик: робоча зона, зона обслуговування, число ступенів рухомості, вантажопідйомність, швидкість руху тощо (Рис.1.3)

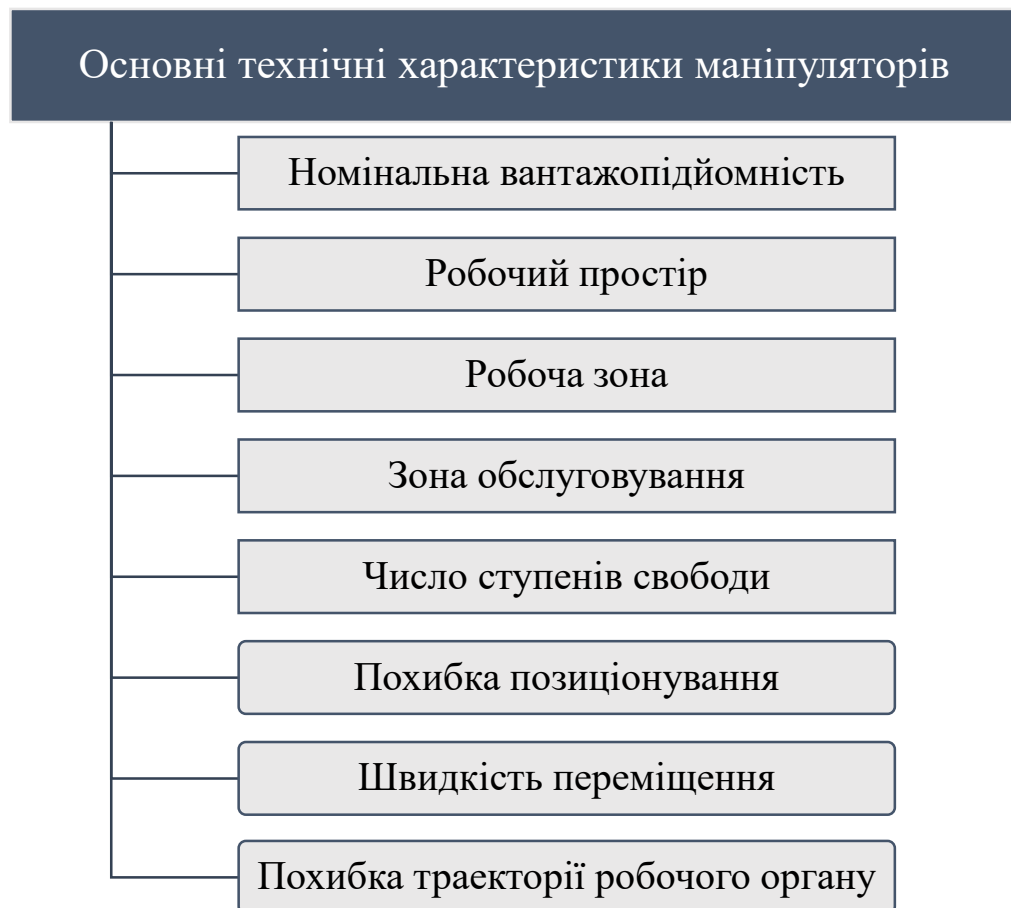


Рис. 1.1 – Основні технічні характеристики маніпуляторів

**Номінальна вантажопідйомність маніпулятора** — це максимальне значення маси об’єктів виробництва та технологічної оснастки, включаючи масу захоплювального механізму, за якою буде забезпечено їх утримання та гарантовано встановлені показники експлуатаційних характеристик.

Вантажопідйомність — найбільше значення маси предметів маніпулювання, разом з масою робочого органу, що можуть переміщатися

«рукою» при встановлених умовах. Якщо таких «рук» декілька, то загальна вантажопідйомність рахується, як сума їх вантажопідйомностей.

Для певних типів ПР важливим показником є крутний момент, який здійснює виокнавчий механізм. Такими є зусилля затиску предмета маніпулювання захоплювальним пристроєм (ЗП), крутний момент при ротації ЗП тощо.

### **Робочий простір**

Робочий простір маніпулятора або ПР — це простір, в якому фізично може розташовуватися виконавчий пристрій при роботі маніпулятора. Його визначають не враховуючи габаритних розмірів предмету маніпулювання.

### **Зона обслуговування**

Зона обслуговування — це простір, де робочий орган виконує свої функції, у відповідності до поставлених задач маніпулятора.

При сумісній праці декількох ПР, розглядається зона спільного обслуговування — частині простору, де переміщення предмету може здійснюватися декількома ПР одночасно.

### **Швидкість переміщення по мірі рухомості**

Розрізняють швидкість лінійних та кутових переміщень.

Швидкість переміщень ланок маніпулятора характеризують важливий аспект маніпулятора — швидкодію, яка впливає на час обслуговування технологічного устаткування. Загалом швидкості лінійних переміщень робочих органів маніпуляторів становлять до 1,5 м/с, хоча є зі до 9 м/с. Швидкості кутових переміщень робочих органів переважно знаходяться в межах від 15 до 360 град/с (до 6,3 рад/с).

**Робоча зона** — простір, в якому може розташовуватися робочий орган при його роботі. Характеризується формою і обсягом.

Форма, або вид робочої зони — це просторова фігура, яку описує робочий орган ПР при подоланні ним кінцевих положень.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Обсяг робочої зони – об’єм фігури, описаної робочим органом по крайнім положенням.

Маніпулятор, який працює з робочою зоною декартової (прямокутної) системи координат (Рис. 1.2), є простим в керуванні і має дуже високу точність позиціонування. Захват маніпулятора поступально переміщується вздовж 3-х осей.

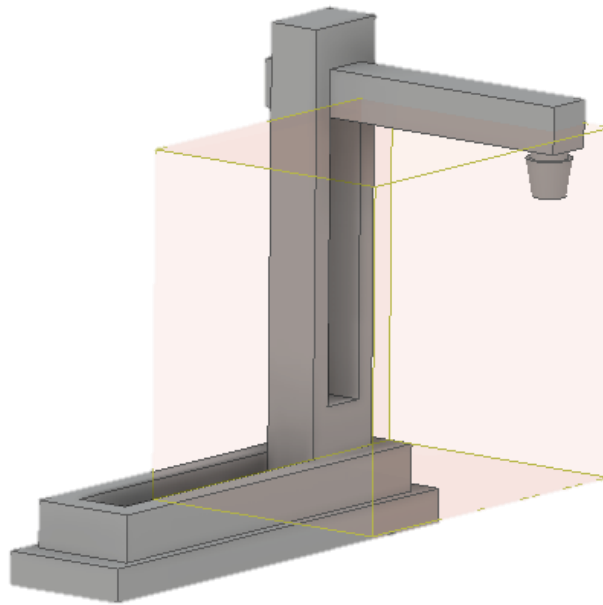


Рис. 1.2 – Маніпулятор декартового типу з виділеною робочою зоною

Шарнірний маніпулятор (Рис. 1.3), який діє в ангулярній системі координат, не має поступальних кінематичних, лише обертальні. ПР такого типу схожі на руку людини, бо має декілька ланок схожих на суглоби. В нього зона обслуговування більша, ніж у інших ПР. Він має більше варіантів для того, щоб обійти перешкоди, а також він може компактно складатися. Проте ним складно керувати.

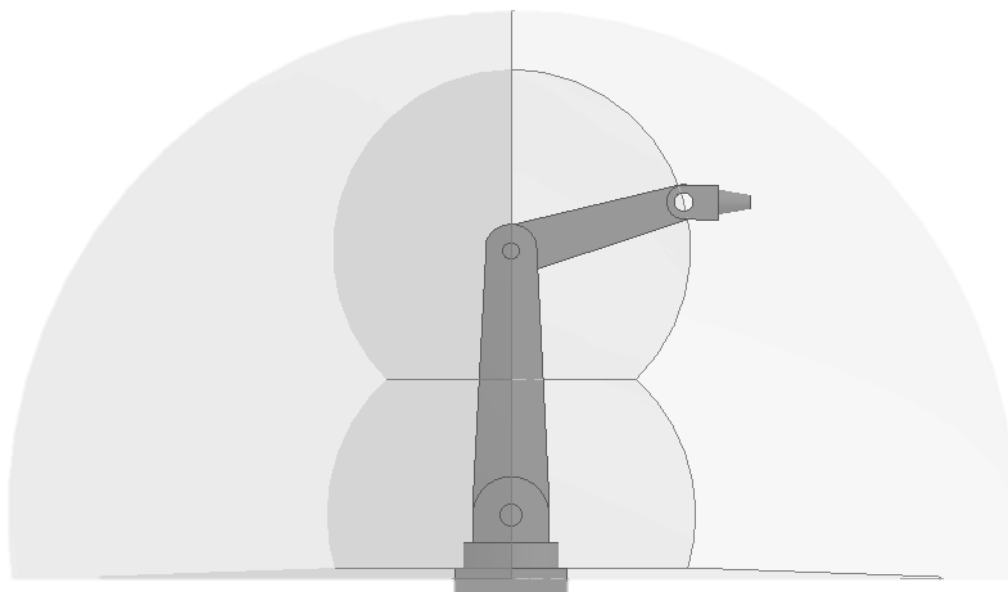


Рис. 1.3 – Ангулярний тип маніпулятора з виділеною робочою зоною

Маніпулятор з циліндричною системою координат, такий ПР працює в робочій зоні, яка має форму обрізаного циліндра з поржнім циліндром всередині (Рис. 1.4). Захват має змогу рухатися вперед-назад, а також переміщуватися вгору-вниз вздовж стійки. Вся конструкція може повертатися навколо осі стійки, але не на  $360^\circ$ .

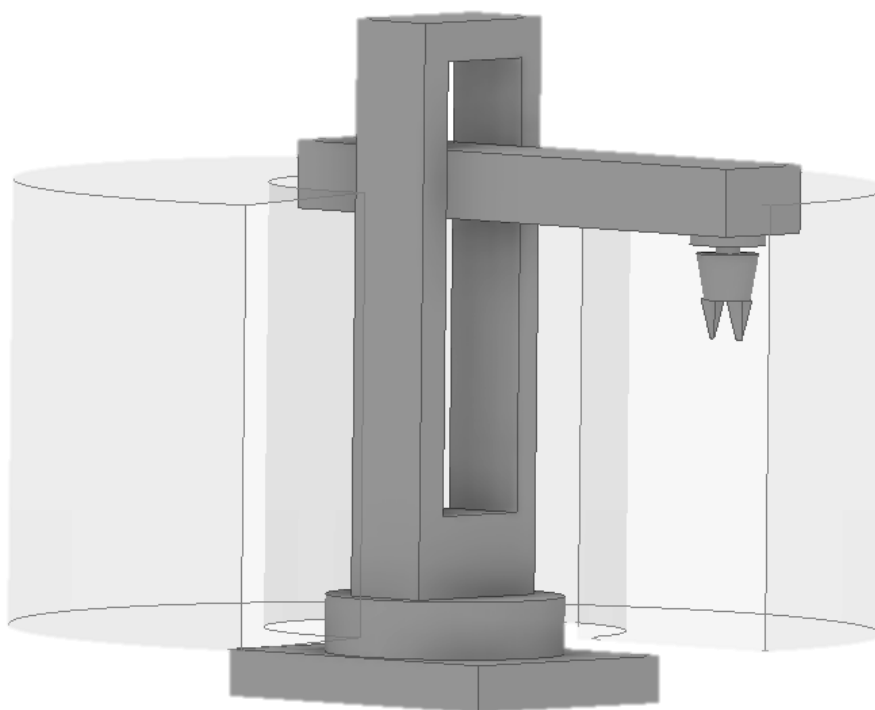


Рис. 1.5 – Циліндричний тип маніпулятора з виділеною робочою зоною

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

18

Маніпулятор, який працює в сферичній (полярній) системі координат. Захват може рухатися вперед-назад (Рис. 1.6), вертикальні переміщення виконуються шляхом повороту його у площині вузла, схожого на плечовий суглоб. Поворот всієї конструкції відбувається в основі маніпулятора навколо осі стійки [2].

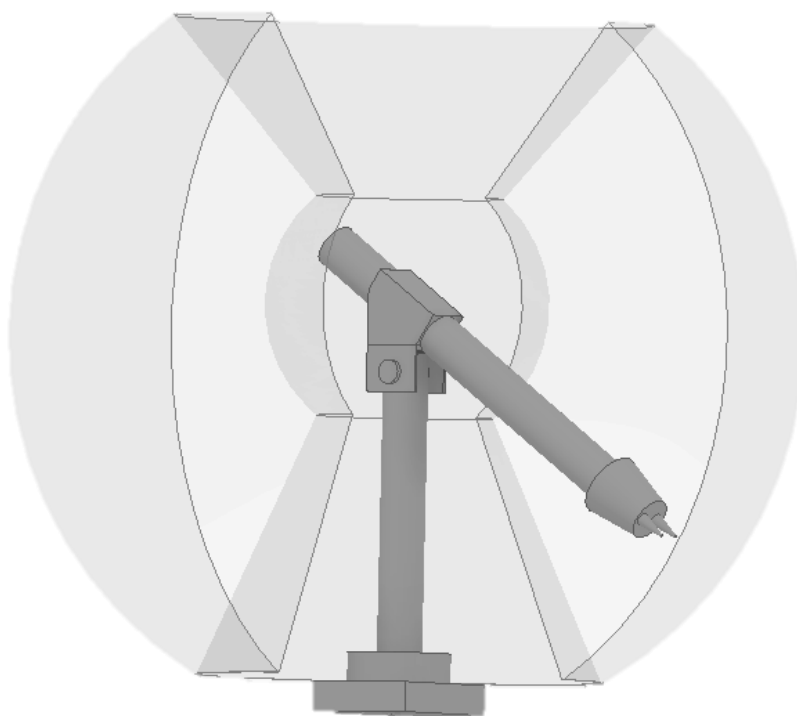


Рис. 1.6 – Маніпулятор зі сферичною СК та виділеною робочою

### Кількість степенів вільності

Їх кількість є сумою координатних рухів робочого органу або предмета маніпулювання, відносно нерухомої системи.

За числом ступенів рухомості маніпулятори поділяють на три групи: з малою рухливістю (до 3-х); з середньою (від 4 до 6); з високою рухливістю (понад 6). Найчастіше використовують конструкції маніпуляторів з 4-ма або 5-ма степенями.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

19

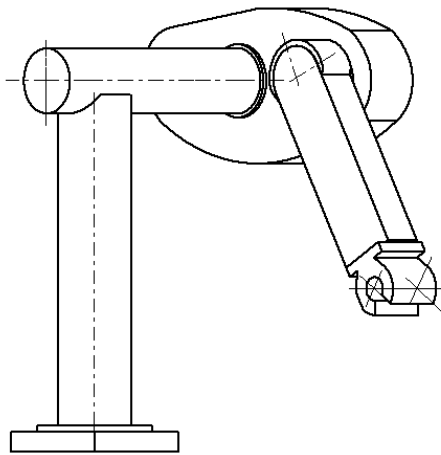


Рис. 1.7 – Приклад конструкції маніпулятора з 5-ма степенями вільності

### **Похибка розташування робочого органу маніпулятора**

Похибкою позиції робочого органу ПР є відхилення його положення від програмно заданого. Означенням такої похибки також можна назвати відхилення розташування робочого органу (РО) від того положення, яке задане програмою при багаторазовому повторенні руху, вимірюється в кутових або лінійних одиницях.

Така відхилення відносять не тільки до РО але й до інших механізмів конструкції ПР.

### **Похибка проходження траєкторії робочого органу ПР**

Похибко є відхилення траєкторії ПР від програмно заданої.

Перелік технічних характеристик може доповнюватися залежно від типу ПР та завдань, які потрібно виконати, для мобільних роботів додаються такі характеристики як швидкість пересування, похибка розташування робота при пересуванні тощо.

## **1.2 СТРУКТУРА ТА СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ МАНІПУЛЯТОРІВ**

### **1.2.1 Структура маніпуляторів**

Як структура так і елементи з яких складається ПР залежать від поставлених задач, умов використання, типу та конструктивних особливостей маніпулятора.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Роботів можна розділити на дві категорії: **стаціонарні** та **пересувні** (мобільні).

**Стаціонарним** роботом називають автоматичну машину, яка має виконавчий пристрій, котрий має декілька ступенів свободи та блоку програмного керування. Такого типу роботи встановлюють на підлогу, або такі ПР мають підвісне або порталне виконання.

**Мобільним** називають робота, в якого також є засіб пересування з програмно керованими приводами. Такі роботи можуть мати різні пристрої для руху: колісної, гусеничної та крокуючої конструкції. Також є особливого виконання, такого типу роботи повзують, плавають і літають.

Узагальнену структуру для більшості промислових роботів показано на рис. 1.8.



Рис. 1.8 – Структура промислових роботів

Маніпулятор та керувальна система, є головними складовими ПР. Кожна з них включає в собі ряд компонентів. Тобто загальна структура має в собі такі компоненти.

Маніпулятор, як механічна система, це керований пристрій ПР, котрий виконує його рухові функції. Його компонентами є виконавчий пристрій та робочий орган.

**Виконавчий пристрій** маніпулятора — це механізм робота, що виконує його рухові функції.

Виконавчий пристрій є багатоланковим просторовим механізмом, який може мати поступальні, обертальні, циліндричні, сферичні та інші кінематичні пари (КП).

У відповідності до наявних завдань маніпулятор може мати різне число ступенів вільності. Виконавчий пристрій, зазвичай, є відкритим кінематичним ланцюгом, його ланки послідовно сполучені між собою з'єднаннями різних типів; проте найчастіше зустрічаються КП, які мають один ступінь рухливості, виконуючи поступальні та обертальні рухи.

Переміщення виконавчого пристрою здійснюється за допомогою приводів поєднаних з механічними компонентами.

**Робочий орган маніпулятора** — це складова ПР, котра разом з виконавчим приладом призначена для виконання технологічних операцій або переходів.

Робочий орган здійснює переміщення об'єктів за допомогою захоплюваного пристрою, або технологічні функції за допомогою додаткового обладнання, наприклад, пристроїв для фарбування, зварювання, обробки поверхні, лазерного різання тощо.

Приводи призначені для виконання переміщень механічних компонентів виконавчого пристрою. Відповідно вимог до засобів переміщення користуються електричними, гідравлічними, та пневматичними регульованими приводами.

Мобільність маніпулятора забезпечують пристрої переміщення, приводи, які можна класифікувати таким чином:

- В залежності від виду енергії, що використовує привід для здійснення робочого руху:
  - пневматичні;

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

- гідравлічні;
- електромеханічні;
- комбіновані.
- По методу відліку координат:
  - з відносним відліком координат - по приростам (кроковий двигун);
  - з абсолютним відліком координат.

Вибір типу привода залежить від призначень ПР, умов експлуатації, вантажопідйомності, динамічних характеристик і виду системи керування.

**Керувальна система (КС)** маніпулятора формує і надає керувальні дії виконавчому приладу у відповідності до керувальної програми.

КС складається з: пристрою керування, що здійснює програмне керування з можливістю перепрограмування інформаційно-вимірювальної системи, яка визначає внутрішній стан робота та стан зовнішнього середовища; системи зв'язку, яка забезпечує зв'язок з пристроями роботехнічних систем; пульта програмування та ручного керування.

### 1.2.2 Механізми маніпуляцій роботів

Для того, щоб відтворити просторову траєкторію лише однієї точки захвату, потрібна кількість ступенів вільності знижується до трьох. Якщо ступенів більше 3-х, це дає змогу оптимізувати кінематичні, динамічні та енергетичні якості маніпулювання. Чим більша кількість «надлишкових» ступенів вільності – тим більш варіативним може бути вибір траєкторії руху у стиснених умовах, таку характеристику називають **маневреністю**. Вища маневреність збільшує робочий простір та зменшує мертві зони.

Траєкторію переміщення об'єктів маніпулювання встановлюють прокреслюванням відповідно вимог найменшого шляху та мінімізації працюючих степенів вільності ПР. Також траєкторія залежить від форми, розмірів, числа роботизованих позицій та від методу навантаження робочої позиції та знаходження об'єкта на ній.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механізмом називають механічну систему, створену для одержання потрібного руху одного або декількох тіл. Основними складовими механізму є ланки і кінематичні пари.

**Ланка** – це одне або кілька жорстко з'єднаних твердих тіл, які є складовими елементами механізму.

**Кінематичною парою (КП)** називають поєднання двох суміжних ланок, яке дозволяє їх відносний рух. Між собою ланки можуть дотикатися поверхнями, лініями або точками. Якщо ланки дотикаються по лінії або в тоці, то така КП називається «вищою», якщо ж по поверхні, то – «нижчою».

Якщо рух ланок КП можливий лише в паралельних площинах, то така КП називається плоскою, в іншому випадку КП є просторовою.

КП класифікують за кількістю ступенів свободи. Вільне тіло в просторі має шість ступенів свободи: три поступальних і три обретаєльних в напрямках просторової системи координат XYZ.

Кількість ступенів свободи для однієї ланки КП, при умові, що інша нерухомо закріплена:

$$W=6-U$$

де  $U$  – число зв'язків КП, якщо  $U=0$ , то з'єднання ланок відсутнє.

Тому діапазон можливої кількості ступенів вільності складає від 1 до 5. Відповідно КП ділять на 5 класів.

При створенні конструкції маніпуляторів уникають використання КП з 1-го по 2-й клас, бо ці КП можуть розірвати ланцюг.

А пари 4-го та 3-го класу замінюють на 2 або 3 пари 5-го класу, тобто виконується заміна вищих КП нижчими.

Кінематичним ланцюгом (КЛ) називають послідовне з'єднання ланок між собою за допомогою КП. Якщо КЛ рухається в декількох паралельних площинах, то такий КЛ є плоским (Рис.1 .9), в іншому випадку просторовим.



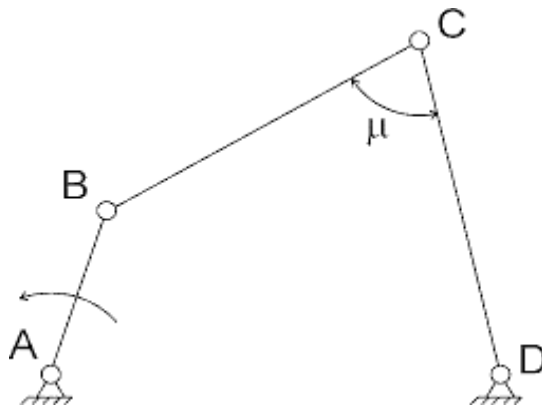


Рис. 1.9 – Приклад плоского кінематичного ланцюга

## 1.3 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ВИДИ ЗАХОПЛЮВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

### 1.3.1 Означення та класифікація захоплювальних пристроїв

Захоплювальним пристроєм (ЗП) маніпулятора називають його робочий орган, призначений для захоплення та утримання об'єктів або технологічної оснастки.

ЗП маніпулятора утримують у визначеному положенні об'єктів маніпулювання різних фізичних характеристик. ЗП відносяться до змінних елементів тому, зазвичай, до роботів в комплекті йдуть кілька ЗП для різних типів робіт.

Для ЗП є ряд вимог: надійність захоплення та утримання об'єкта, стабільність та базування, недопустимість пошкоджень чи руйнування об'єктів. Останні роки популярним напрямком стало розролення конструкції ЗП, які можуть захоплювати і не орієнтовано розміщені об'єкти.

**За способом утримання об'єктів ЗП розділяють три категорії.**

Підтримуючі ЗП, для утримання об'єкта користуються його опорною поверхнею, різного виду виступаючі частини об'єкта або отвори. Такими пристроями є гачки, петлі, вилки, ложки, лопатки тощо.

Схоплювальні пристрої утримують об'єкти завдяки губам, кліщам, пальцям тощо. Такі ЗП ділять на дві групи: жорсткі та з еластичними робочими камерами, які працюють з стиснутим повітрям.

Утримуючі ЗП завдяки різноманітним фізичним ефектам, здійснюють силовий вплив на об'єкт. Широко використовують вакуумні, струменеві та магнітні ЗП, адгезійні або з липкими накладками.

**За характером базування:** центруючі, базуючі, фіксуючі, пасивні.

**За числом робочих позицій:** однопозиційні та багатопозиційні.

**За характером керування:** некеровані, командні, жорсткопрограмовані та адаптивні.

Некеровані ЗП – прилади з постійними магнітами, присмоктувачами без примусового розрідження. Щоб зняти об'єкт з такого ЗП потрібно більше зусилля ніж для утримання.

Командні керуються тільки командами на захоплення або відпуск об'єкта.

Жорсткопрограмовані ЗП – управляються системами програмного керування ПР.

Адаптивні ЗП – це програмовані та оснащені різними датчиками для сприйняття зовнішньої інформації, підлаштовуються під визначені форми поверхні та маси об'єкта.

**За характером кріплення.**

Незмінні – пристрої, котрі є невід'ємною частиною конструкції маніпулятора.

Змінні – ЗП, що є самостійними вузлами з базовими поверхнями для кріплення робота. Їх конструкція не передбачає швидкої заміни.

Швидкозмінні – пристрої, в яких конструктивне виконання базових поверхонь для кріплення дає змогу швидко замінювати ЗП.

Автозамінні – їх конструкція дозволяє автоматичне закріплення на руці.

**За принципом утримання об'єктів.**

Механічного принципу, пристрої, що утримують об'єкти під дією реакцій у точках контакту з робочими елементами. Поділяють на захоплювачі та підтримуючі пристрої.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Вакуумного принципу ЗП, тримають об'єкт завдяки розрідженому повітрю в замкнутій порожнині присмоктувача.

Магнітного принципу ЗП, що утримують предмет при дію магнітних сил, створених постійним магнітом або електромагнітом.

### 1.3.2 Складові елементи захоплювальних пристроїв та їх призначення

Захоплювачі розділено на такі частини: поєднувальні елементи, двигуни, механізми передавання зусиль і перетворення рухів, кінцеві ланки механізмів, робочі елементи, накладки, вставки тощо. Інформація про функціональне призначення основних складових наведено в табл 1.1

Таблиця 1.1 Основні складові ЗП

Складові захоплювача	Функціональне призначення
Поєднувальні елементи	Збільшення виносу захоплювача, його вертикальне або бокове зміщення, зміна орієнтації захоплювача, забезпечення можливості встановлення двох і більше захоплювачів або захоплювача другого ПР
Приводи	Переміщення робочих елементів захоплювання, створення зусиль захоплювання
Механізми передавання зусиль	Перетворення видів руху, зміна його напрямку, передавання руху до кількох ланок, отримання потрібного передавального числа для розкриття захоплювача.
Кінцеві ланки механізмів	Задавання потрібного положення і кінематики переміщень робочих елементів, пристосування до габаритів об'єктів захоплювання
Робочі елементи	Забезпечення базування і жорсткого фіксування предметів за заданими координатами; забезпечення контакту за заданими точками, лініями або поверхнями
Накладки та вставки	Підвищення несучої здатності за рахунок збільшення коефіцієнта тертя, зменшення контактних напружень за рахунок збільшення зон контакту, адаптації до змін форми поверхонь об'єкта

**Механізми передавання** характеризують типом перетворення руху, передавальним числом, залежністю зусилля від розкриття захоплювача.

Нижче наведено найпоширеніші схеми ЗП.

Найпростішою є схема (рис 1.10), яка має пряме передавання з єдиним рухомим робочим елементом, що жорстко пов'язаний зі штоком пневмоциліндра та переміщується вздовж його осі. Об'єкт рухається вздовж осі  $z$ .

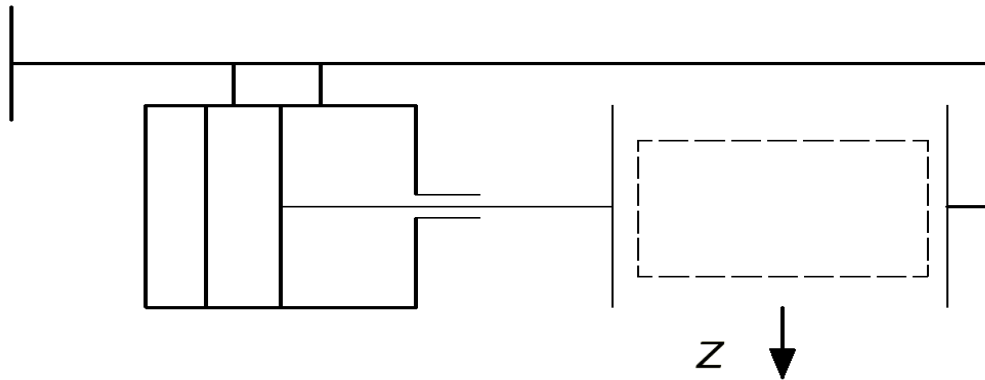


Рис. 1.10 – Приклад ЗП із горизонтальним затиском

Схема (рис 1.11) має дві особливості: влаштований в механізм і є коливальний циліндр. Розміщення циліндра всередині механізму дає змогу скоротити його розмір вздовж повздовжньої осі  $X$ .

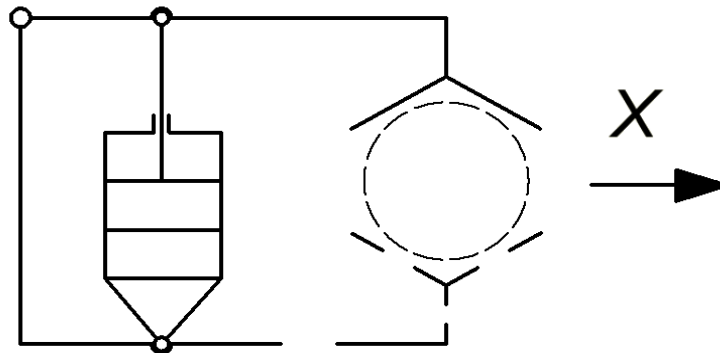


Рис. 1.11 – Приклад ЗП із коливальним циліндром

На рис 1.12 зображено розповсюджена схема кліщового захоплювача, в якій вихідна ланка обертається симетрично осі  $X$  навколо, затиск і розтиск об'єкту відбувається коли вихідна ланка починає рухатися в бік циліндра, коли подається тиск в ліву порожнину пневноциліндра, в якій відсутній шток.

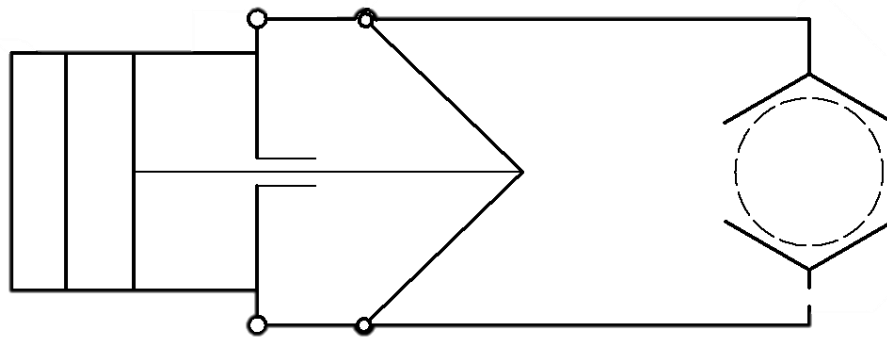


Рис. 1.12 – Приклад кліщового ЗП

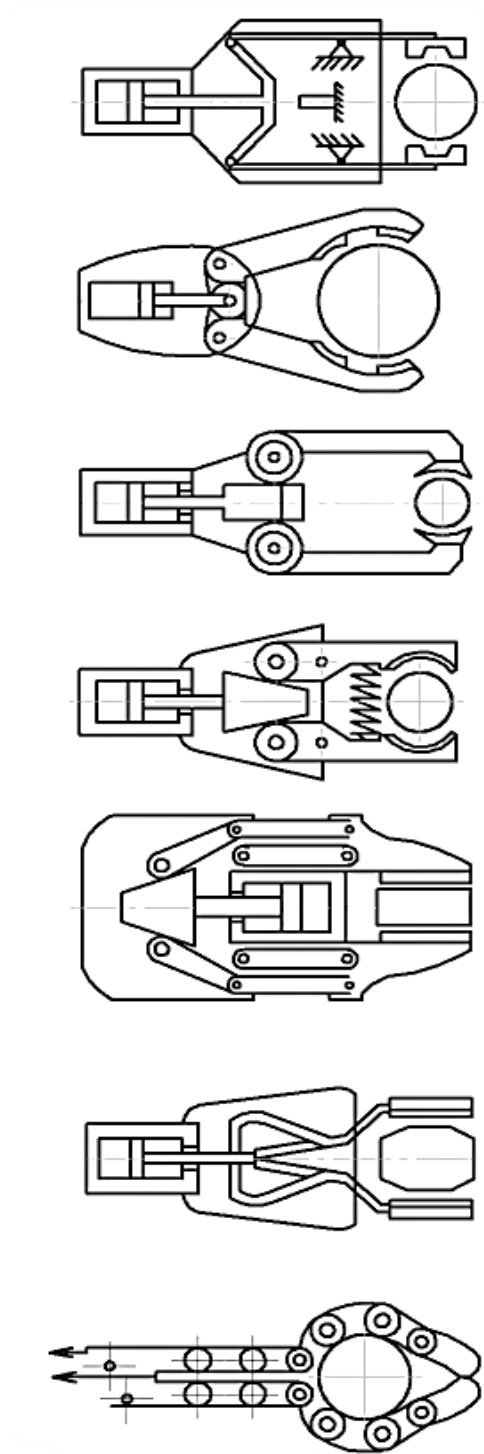
Одними з найбільш поширених в машинобудуванні є механічні захватні пристрої.

«Можна виділити сім груп конструктивних схем які найбільш часто застосовуються на практиці,: важільні; кулісно-важільні; рейково-важільні; клино-важільні звичайного виконання; клино-важільні з плоскопаралельним переміщенням губок; пружинні; багатоланкові» (рис. 1.13).

«Такі захватні пристрої можуть обладнуватися електро, пневмо або гідро приводами. Кожен з перерахованих приводів має свої переваги та недоліки.

Перевагою пневмопривода – є його простота конструкції, зручність підведення енергії, відсутність течі, легкість регулювання зусилля затиску, можливість використання в агресивних середовищах і зонах високих температур. Недолік – це великі габаритні розміри при порівняно малих зусиллях затиску.

Гідропривід зазвичай застосовують там, де необхідні значні зусилля затиску об'єкта при невеликих габаритних розмірах приводу. Він також дозволяє легко регулювати зусилля затиску. Електропривод знаходить поки обмежене застосування.»[3].



Важільний

Кулісно-важільний

Рейково-важільний

Клино-важільний

Клино-важільний з  
паралельним рухом губок

Пружинний

Багатоланковий

Рис. 1.13 – Приклади кліщових ЗП

Було розглянуто різноманітні конструкції маніпуляторів, їх класифікацію та основні частини маніпуляторів і затискних пристроїв.

Виконаний огляд дає змогу зробити наступні висновки:

- сьогодення маніпуляторів потребує розробки нових підходів до створення їх механізмів та пристосувань;
- необхідні методи, що забезпечать підвищення швидкодії та точності основних механізмів;
- сучасний етап розвитку ПР вимагає рішення, які дозволять збільшити спектр їх використання;
- ЗП є ключовими частинами, впливають на кінцеву точність позиціонування об'єктів маніпулювання та на швидкість процесу маніпулювання;

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

## 2 ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Було поставлено задачу конструкторської розробки – створити прототип маніпулятора, який б повністю відповідав регламенту ERC, та був конкурентноспроможним на змаганнях. Маніпулятор повинен кріпитись на зубчастій основі, виконувати обертальний рух, та піднімати в розгорнутому стані вагу 10Н. Визначимось з вимогами до ровера, представленими учасникам змагань ERC:

- Збірна конструкція;
- Висота ровера в згорнутому вигляді не більше 0,7 м;
- Довжина ровера не більше 1,5 м.

Ровер умовно розділено на дві частини:

1. Рухома платформа на яку буде кріпитися маніпулятор;
2. Маніпулятор.

Оскільки рухома платформа вже спроектована, відомо, що її висота становить 160 мм. Тому, для того щоб задовільнити умови змагань, висота маніпулятора в складеному вигляді не повинна перевищувати 540 мм.

Перш ніж перейти до розробки конструкції маніпулятора, розглянемо найбільш розповсюджені, на сьогодні, види маніпуляторів схожих за принципом роботи та зі схожим завданням, проаналізувавши переваги й недоліки різних конструкцій, почнемо створення прототипу.

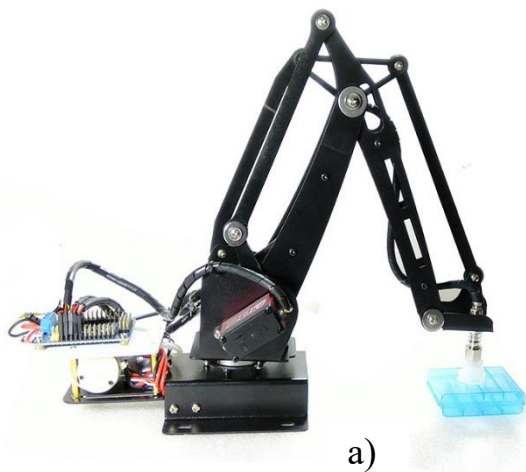
Вказані варіанти конструкцій маніпуляторів (Рис. 2.1) використовуються для переміщення малогабаритних предметів невеликої маси, окремими випадками використання такого типу роботів є натискання на кнопки та керування регуляторами

Їх рух забезпечують крокові приводи або лінійні актуатори, тому вони мають достатньо високу точність.

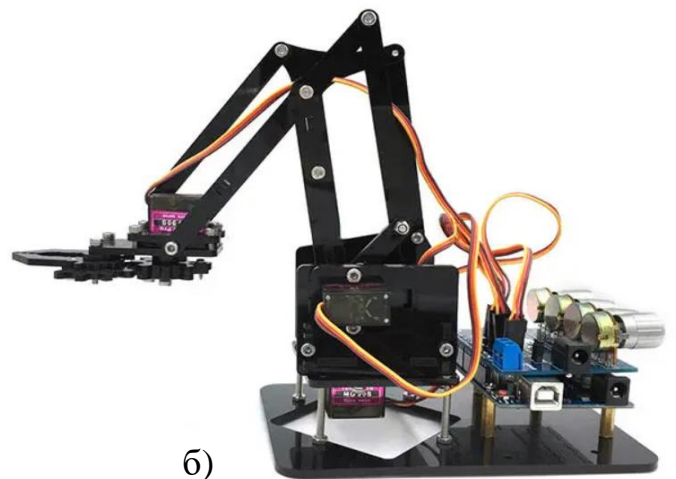
Базовими елементами конструкцій цих маніпуляторів є: ланки; основа, яка обертається; сервоприводи або лінійні актуатори; плата ARDUINO – система керування та захват.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

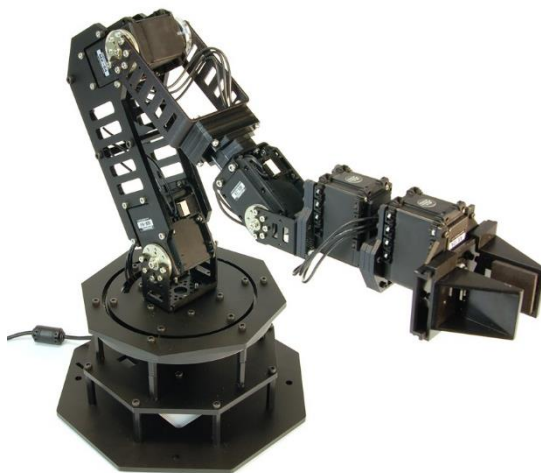




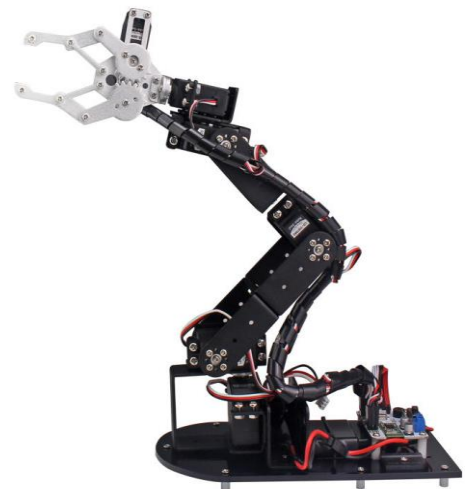
а)



б)



в)



г)

Рис. 2.1 – Варіанти конструкцій маніпулятора  
(а, б, в, г – з 3-ма, 4-ма, 5-ма та 6-ма степенями вільності відповідно)

Конструкція маніпулятора з 3-ма степенями вільності (Рис. 2.1, а)

Переваги:

- простота конструкції;
- менші затрати енергії;
- висока точність позиціонування;
- простота керування;
- дешевизна.

Недоліки:

- обмеженість траєкторії руху РО;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

33

- мала робоча зона;
- неможливість обходу перешкод.

Конструкція маніпулятора з 4-ма степенями вільності (Рис. 2.1, б)

Переваги:

- відносна простота конструкції;
- відносно невеликі затрати енергії;
- відносна простота керування;
- більша рухомість;
- дешевизна;
- відносна висока точність позиціонування.

Недоліки:

- обмеженість траєкторії руху РО;
- відносно мала робоча зона;
- низька варіація обходу перешкод;
- складність управління;
- складність виготовлення.

Конструкція маніпулятора з 5-ма степенями вільності (Рис. 2.1, в)

Переваги:

- гарна рухливість;
- достатньо висока варіація обходу перешкод;
- достатньо велика робоча зона;
- достатня точність позиціонування;

Недоліки:

- складність управління;
- складність виготовлення.

Конструкція маніпулятора з 6-ма степенями вільності (Рис. 2.1, г)

Переваги:

- висока рухливість;
- висока варіація обходу перешкод;

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- велика робоча зона;

#### Недоліки:

- складність управління;
- точність позиціонування;
- висока ціна;
- складність конструкції;
- складність виготовлення.

Проаналізувавши конструкції, для участі у проекті ERC було обрано конструкцію маніпулятора з 5-ма степенями вільності та захвату (Рис. 2.3).

Обрана конструкція маніпулятора (Рис. 2.2) складається: з зубчастої основи, яка буде обертатися та сприймати навантаження; ланок; лінійних актуаторів, для забезпечення підйимального руху ланок; робочого органу та системи керування.

Захоплення об'єктів буде здійснюватися паралельним рухом губ захвату. Обертання РО відбувається за допомогою колових рухів шестерні, що обертає зубчасту основу РО до якої кріпляться затискні губи.

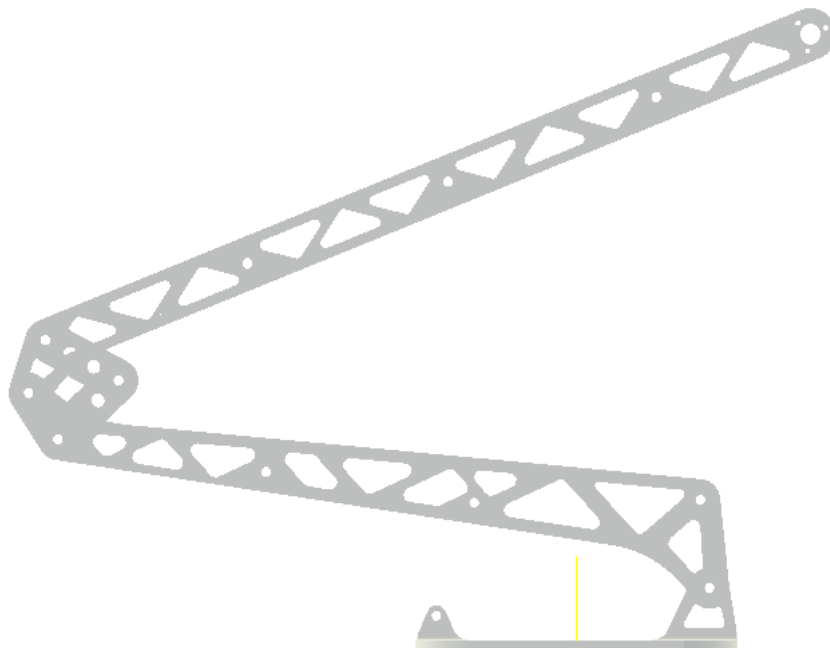


Рис. 2.2 – Обрана конструкція маніпулятора

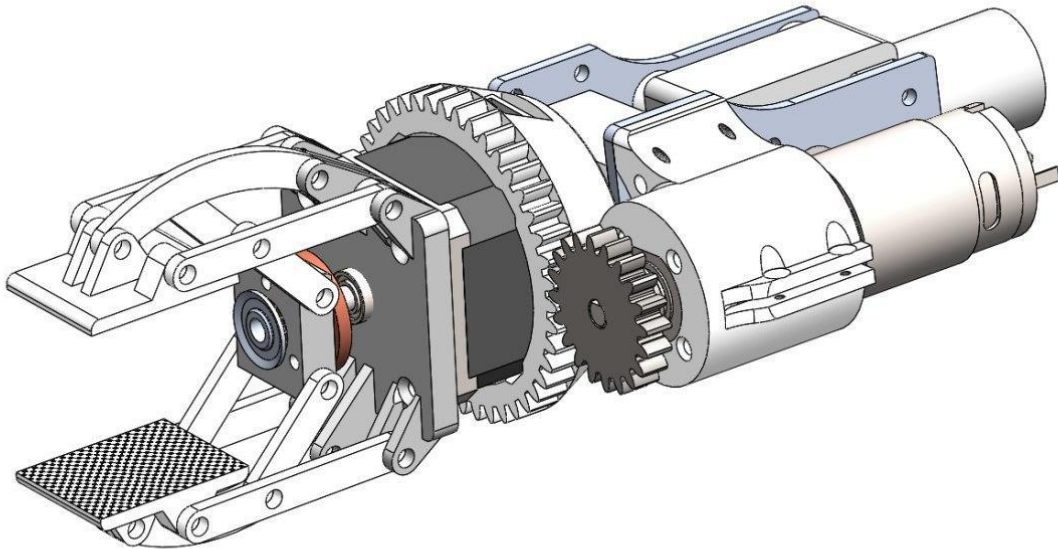


Рис. 2.3 – Обрана конструкція захвату маніпулятора

Маніпулятор кріпиться на зубчастій основі, яка робить колові рухи та сприймає основне навантаження. Кінематична схема маніпулятора зображена на рис. 2.4. За даною схемою буде здійснено розрахунок навантаження на зубчасту основу.

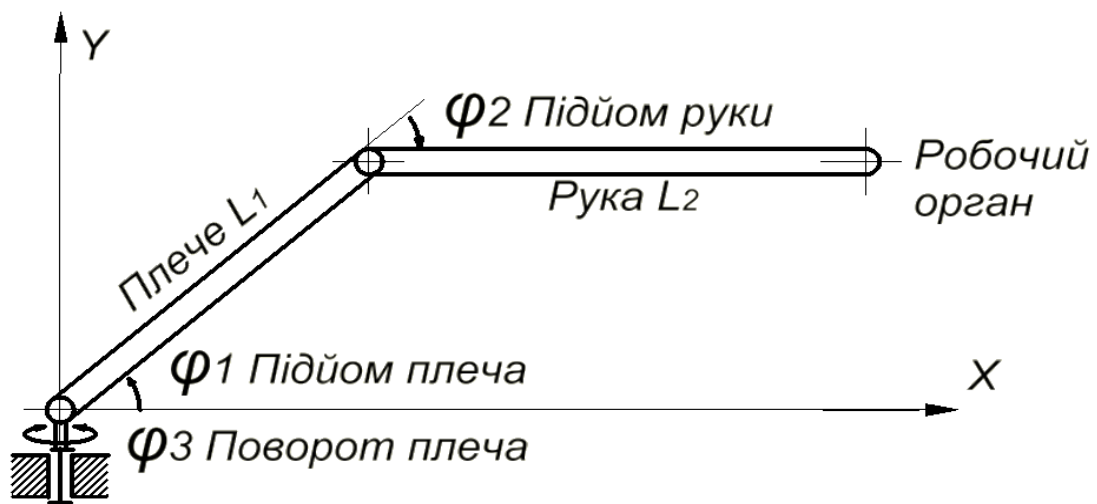


Рис. 2.4 – Кінематична схема маніпулятора

Розрахунок навантаження, яке діє на основу можна спростити до крутного моменту, який діє на основу в кінцевому положенні ланок маніпулятора.

Розрахунок навантаження:

Дано:

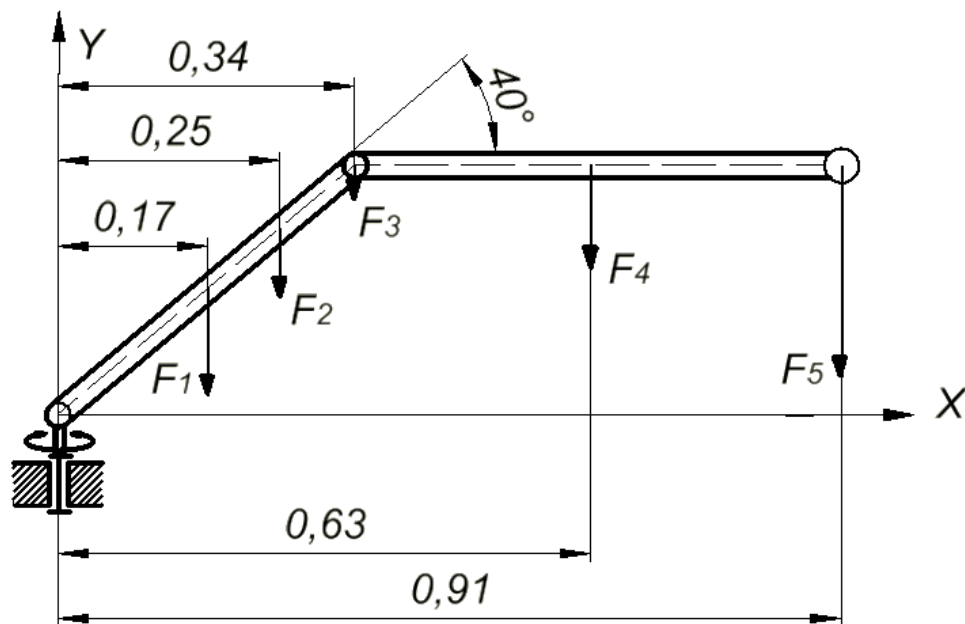


Рис. 2.5 – Схема для розрахунку навантаження на основу

$F_1 = 6\text{Н}$  – Вага 2 ланок біля основи;

$F_2 = 4\text{Н}$  – Вага лінійного актуатора;

$F_3 = 2\text{Н}$  – Вага 4-х ланок малих розмірів;

$F_4 = 6\text{Н}$  – Вага 2 ланок біля РО;

$F_5 = 20\text{Н}$  – Вага РО та максимально допустимої заданої ваги об'єкта.

Кожна сила  $F$ , створює крутний момент на основу маніпулятора. Тому загальне значення крутного моменту можна розрахувати за формулою, яка є алгебраїчною сумою всіх крутних моментів, що діють на основу.

$$M_{\text{осн}} = \sum M_i = \sum F_i * r_i * \sin \varphi$$

де  $r_i$  – плече сили, а  $\varphi$  – кут між важелем та напрямком дії сили.

$$M_1 = 6 \times 0,17 \times \sin 50^\circ = 0,8 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$M_1 = 4 \times 0,25 \times \sin 50^\circ = 0,8 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$M_1 = 2 \times 0,34 \times \sin 50^\circ = 1,6 \text{ Н} \times \text{м}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

37

$$M_1 = 6 \times 0.63 \times \sin 90^\circ = 3.8 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$M_1 = 20 \times 0.91 \times \sin 90^\circ = 18.2 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$M_{\text{очн}} = 18.2 + 3.8 + 1.6 + 0.8 + 0.8 = 25.2 \text{ Н} \times \text{м}$$

Основа несе найбільше навантаження та здійснює колові рухи. Потрібно створити конструкцію, яка витримувала ці навантаження її розробити технологію її виготовлення.

У розділі було проаналізовано конструкції маніпуляторів, проведено розрахунок сили, що діє на основу з відповідною конструкцією. Обрано конструкцію захватного механізму.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ОСНОВИ МАНІПУЛЯТОРА

#### 3.1 Вибір та обґрунтування матеріалів конструкції

Варто згадати про матеріали, що використовуються для виготовлення зубчастих коліс.

«Зубчасті колеса виготовляють з конструкційних сталей, сірого чавуну, бронзи і пластмас. Основними матеріалами для зубчастих коліс є вуглецеві і леговані сталі, які термічно зміцнюються до високої твердості, марок 45, 20Х, 40Х, 40ХН, 35ХМ та ін.

В автотракторобудуванні зубчасті колеса виготовляють з хромомарганцевих сталей 18ХГТ, 30ХГТ, хромомолібденової сталі 30ХМ. Сталь 18ХГТ завдяки наявності титану має підвищену прогартуваність, міцність і меншу чутливістю до перегріву. Ця сталь відрізняється високим опором до зминання. Сталь 30ХГТ містить дещо більше вуглецю, чим сталь 18ХГТ, і широко застосовується для сильно навантажених зубчастих коліс з модулем понад 5 мм. Вона в термічно обробленому стані має високі показники міцності серцевини в січенні зубів.

Зубчасті колеса металорізальних верстатів виготовляють з вуглецевих сталей 45 і 50, а також з легованих хромистих сталей 40Х. Для виготовлення зубчастих коліс набуває поширення низьколегована з вмістом бору сталь 20ХГР, 25ХГР. Введення невеликих кількостей бору (0,002-0,005%) значно збільшує прогартуваність, характеристики міцності і в'язкість. Після гартування і низького відпуску твердість сталі становить 36-40 HRC.» [4].

Виходячи з даної інформації, в якості матеріалу зубчастого колеса обираємо сталь марки 45.

Так, як корпус, на якому кріпимо зубчасте колесо, не сприймає особливих навантажень та не зношується, для його виготовлення вибираємо матеріал – алюміній АМг5, сплав має середню міцність та пластичність.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

### 3.2 Конструкція основи маніпулятора

Корпус проектованої основи складається з двох частин, перша – база, на яку буде кріпитися зубчасте колесо, друга – зубчасте колесо з внутрішнім зачепленням.

База під зубчасте колесо (Рис. 3.1). Має шість отворів для кріплення по зовнішній поверхні та шість отворів для кріплення зубчастого колеса, два з яких під штифти (ГОСТ 3128-70), а інші під болти з потайною головкою та внутрішнім шестигранним заглибленням під ключ (ГОСТ 11738-84).

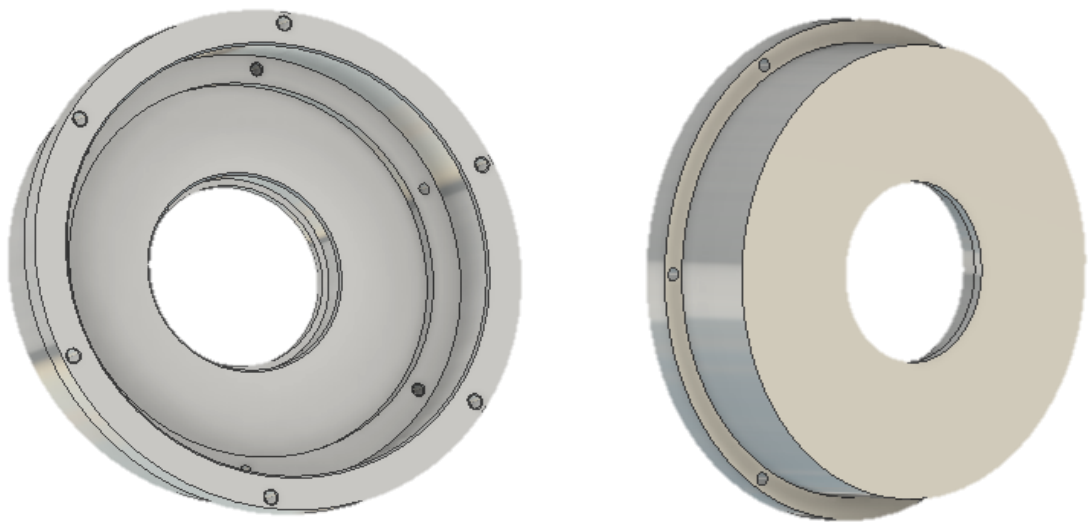


Рис. 3.1 – База під зубчасте колесо

Зубчасте колесо має зовнішній діаметр 190 мм. Також має кріпильні отвори для штифтів та під болти. Посадка перехідна.

Загальна конструкція основи у зібраному вигляді має такий вигляд, як показано на Рис. 3.2.



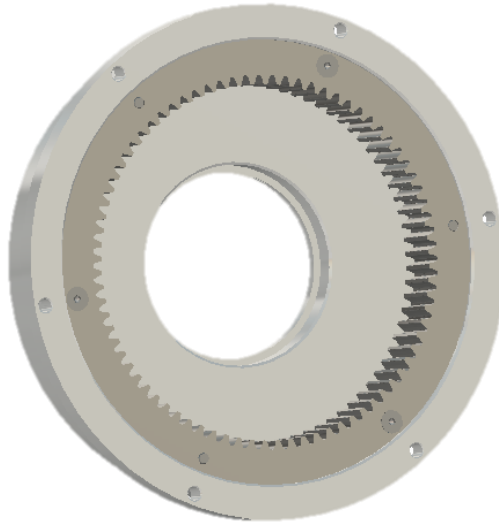


Рис. 3.2 – Конструкція основи маніпулятора

### ПРИНЦИПОВА СХЕМА ОСНОВИ МАНІПУЛЯТОРА

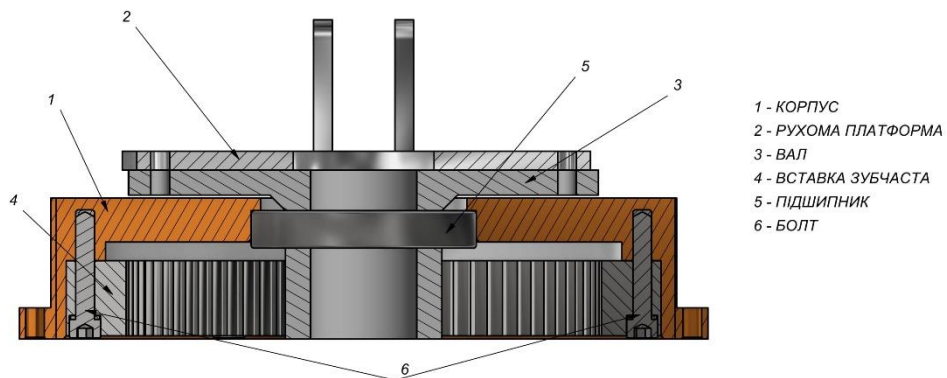


Рис.3.2.1 – Принципова схема вузла

### 3.3 Технологія виготовлення бази

Оброблювана заготовка є тілом обертання, тому обираємо схему базування по короткому циліндру. Схема базування вказана на рис.3.3

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

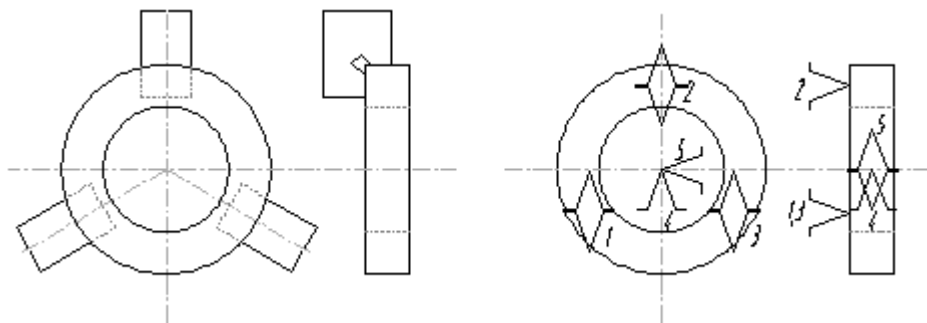


Рис.3.3 – Схема базування

При обраній схемі базування по циліндру в трикулачковому патроні. При такому варіанті встановлення похибки дорівнюють:

- Похибка встановлення по діаметру. В даному випадку буде дорівнювати допуску на зовнішній діаметр, згідно ЕСКД допуск на розмір 220h12 рівний 460 мкм ( $\epsilon_B = 460$  мкм).
- Похибка встановлення по довжині для заготовок в самоцентрівному трьохкулачковому патроні – ( $\epsilon_B = 0$  мкм).

### Розробка принципової схеми.

Пристосування для закріплення заготовки – трикулачковий самоцентрівний патрон.

Пристосування для свердління отворів – налагоджувальний кондуктор з ділильним пристосуванням.

Обрано токарний самоцентрівний патрон 250 мм. Кулачки патрона необхідно розточити до діаметра  $\geq 250$  мм, для точності встановлення. А також в результаті отримуємо упорну поверхню на кулачках для фіксації положення заготовки в осьовому напрямку.

### Розрахунок сил

Для розрахунку сил затиску для обробки деталі заготовки необхідно розрахувати сили та моменти процесу обробки.

#### 1. Основні характеристики заготовки:

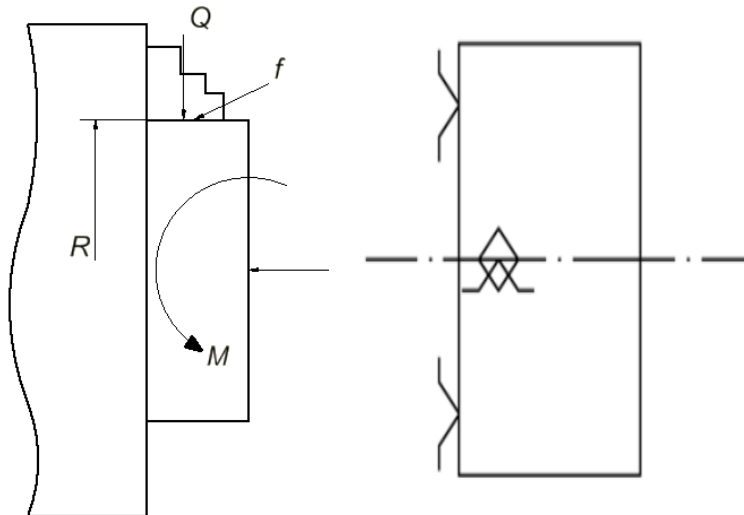
1) Круглий прокат алюміній АМг5 (  $2650 \text{ кг/м}^3$ ,  $HV 10^{-1} = 65 \text{ Мпа}$

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$\sigma = 115 \text{ МПа})$$

2) Розміри заготовки  $\varnothing 220 \times 60 \text{ мм}$

2. Заготовка, встановлена в трьохкулачковому патроні, знаходиться під дією моменту  $M$  і осьової сили  $P$ . Сила затиску  $Q = KM/3fr$ ,  $r$  – радіус заготовки,  $f$  – коефіцієнт тертя її поверхні в кулачках.  $K=2.5$



Для того щоб розрахувати силу затиску, потрібно розрахувати режими різання.

$$v = \frac{C_v}{T^{m_t} x_S y} K_v - \text{швидкість різання}$$

$C_v = 328$  – чорнова обробка (поправочні коефіцієнти  $m=0.28$

$x=0.12$   $y=0.25$ )

$T = 30 \text{ хв}$  – стійкість інструмента

$S = 0.2 \text{ мм/об}$  – подача

$$K_v = K_{\mu v} K_{nv} K_{uv} = 0.9 \cdot 0.8 \cdot 1 = 0.72 - \text{загальний}$$

поправочний коефіцієнт

$$v = \frac{328}{30^{0.28} 2^{0.12} 0.2^{0.25}} 0.72 = 152.7 \text{ м/хв} - \text{швидкість різання}$$

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = 221 \text{ об/хв} - \text{частота обертання шпинделя}$$

$$P = 9,81 \cdot C_p t^x S^y \cdot v^n K_p - \text{сила різання}$$

$C_p = 50$  – коефіцієнт, який враховує властивості оброблюваного матеріалу

Показники степенів (  $x=1$   $y=1$   $n=0$ )

$$K_p = K_{\mu\rho} K_{\phi\rho} K_{\gamma\rho} K_{\lambda\rho} K_{rp} = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2$$

$$P = 9,81 \cdot 50 \cdot 2^1 0.2^1 \cdot 153^0 \cdot 2 = 392.4 \text{ Н}$$

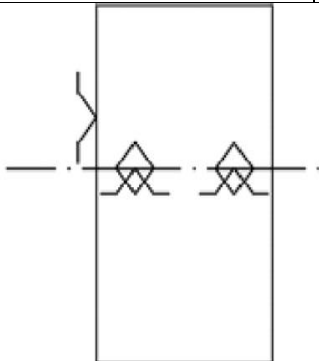
Тепер розраховуємо силу затиску

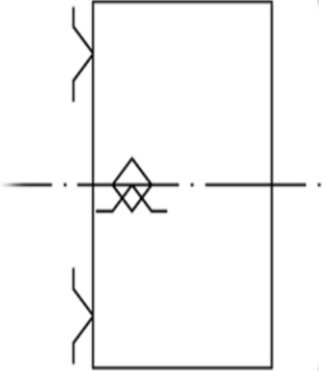
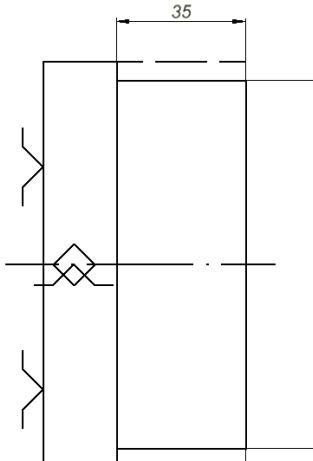
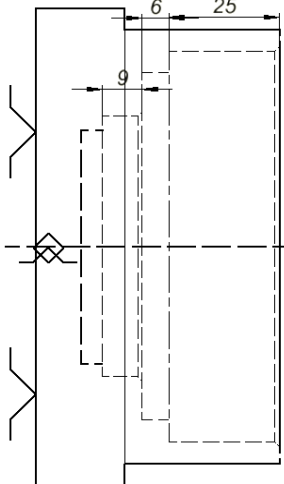
$$Q = K \cdot M / (3 \cdot f \cdot r) - \text{сила затиску}$$

$$M = F \cdot r = 392.4 \cdot \frac{0.22}{2} = 43.12 \text{ Н/м.}$$

$$Q = 2.5 \cdot \frac{43.12}{3 \cdot 0.18 \cdot 0.11} = 1818.2 \text{ Н.}$$

Табл. 3.1 Технологічний процес виготовлення бази

№	Найменування операції	Ескіз операції	Верстат, інструмент	Пристосування
005	Відрізання заготовки на довжину 55 мм		Відрізний верстат; пилка сегментна	Тиски з призмою

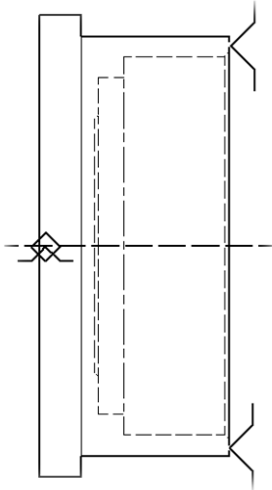
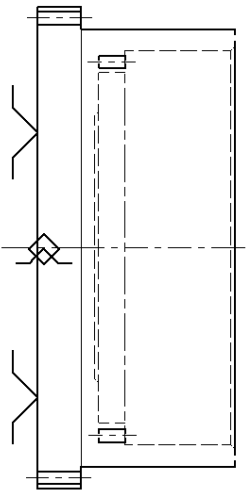
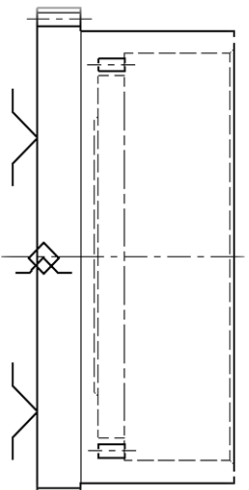
010	Токарна обробка торця з бокурозташування отвору більшого діаметру		Токарний верстат; різець підрізний	Трикулачко-вий патрон
020	Точіння зовнішнього контуру на діаметр 200 мм		Токарний верстат HAAS CL-1; різець прохідний упорний	Трикулачко-вий патрон
030	Точіння внутрішнього контуру		Токарний верстат HAAS CL-1; різець розточний	Трикулачко-вий патрон

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

45

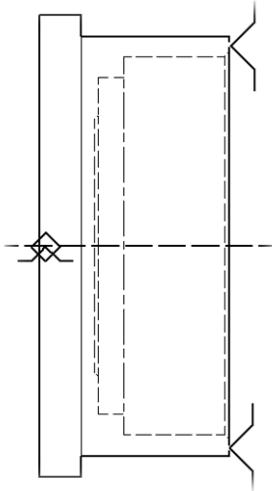
040	Відрізання		Токарний верстат; різець відрізний	Трикулачко-вий патрон
050	Свердління отворів для кріплення зубчастого колеса та бази		Вертикально фрезерний верстат; свердло	Налагоджувальний кондуктор з ділильним пристосуванням
060	Нарізання різьби в отворах для кріплення зубчастого колеса		Вертикально фрезерний верстат з ЧПК; мітчик	Спеціальне пристосування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

46

070	Шліфування поверхні під зубчасте колесо		Шліфувальний верстат з ЧПК; шліфувальний круг	Спеціальне пристосува ння
080	Контроль деталі			
090	Пакування			

## 4 ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ОСНОВИ

### 4.1 Огляд інструментів для отворів великого діаметру

Для виконання токарних операцій потрібно розробити інструмент, який матиме гарні характеристики. В наш час існує велика кількість конструкцій та конфігурацій різців, різальних головок, розточних головок, які створені для виконання різних задач, при різних умовах обробки. Найпопулярнішими є розточні головки для верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) або універсальні обробні центри. Тенденцією розвитку розробки інструменту полягає у підвищенні його ефективності та працездатності. Ці завдання виконуються за допомогою змінних різальних пластин. Легка заміна різальної пластини дозволяє зробити процес обробки більш гнучким та комфортним, підбираючи пластини під певні умови: кути різання, наявність стружколамів та швидкозаміна відпрацьованих елементів.

Присутні конструкції, які використовують твердий сплав ділять на дві групи:

- 1) Монолітний інструмент;
- 2) Збірний інструмент.

«Саме розточні головки відносяться до категорії збірного інструменту.

Далі можна виділити наступні типи головок:

- Головки із ручним установленням різальних елементів
- Головки з автоматичною подачею різальних елементів

Головки із ручним встановленням різальних елементів є найбільш уживаними, так як мають відмінні експлуатаційні та технічні характеристики. При ручному установленні забезпечується вища надійність конструкції, завдяки більшій жорсткості утвореної конфігурації. Такий тип головок виготовляють із високоміцної сталі, що в свою чергу проходить попередню термічну обробку.

Інструмент описаної конструкції встановлюється у патрон із використанням жорстокого, позбавленого додаткових вузлів, з'єднання. Саме встановлення інструменту має велике значення, адже надійне закріплення

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



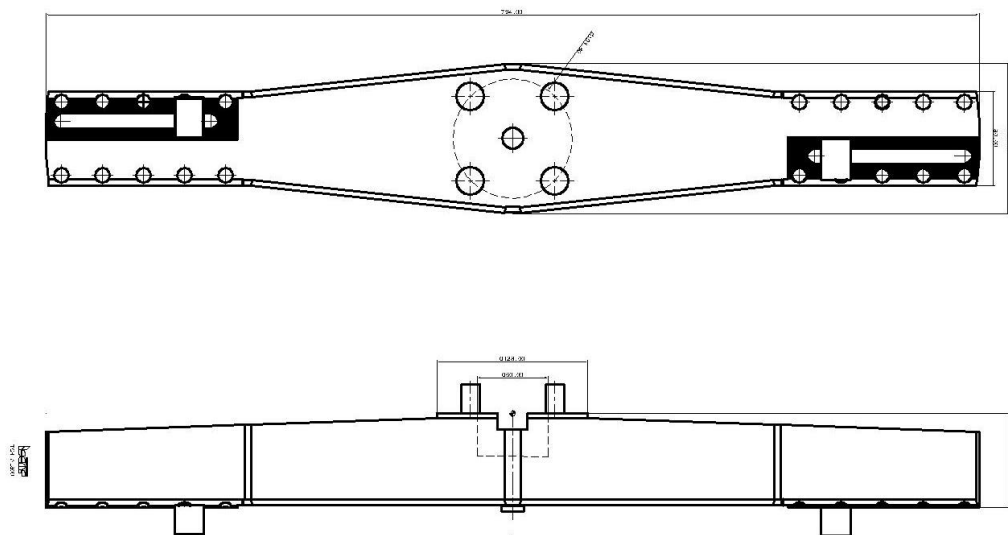
запобігає утворенню руйнівних вібрацій, та дозволяє підвищити якість оброблюваної поверхні. Такий інструмент працює достатньо довгий час без переустановлення, що є прямим показником ефективності, а саме економії часу.

Головки з автоматичною подачею оснащені механізмами подачі автоматичного типу, що надає можливість ступінчатої обробки, виконання обробки зі складною конфігурацією закритих порожнин у формі поверхонь обертання, таких, як, наприклад, канавок під пристрої ущільнення в механізмах пневматичного ті гідравлічного типів. На відміну від головок із ручною подачею, має додаткові технологічні можливості, що забезпечуються механізмом переміщення різця в радіальному напрямі на встановлену відстань за кожен оберт шпинделя верстату.» [5].

Існують роз'ємні та цільні розточні головки.

Нижче наведено приклади існуючі конструкції роз'ємних розточних головок провідних компаній:

- розточна головка, із можливістю встановлення двох різців від виробника ISCAR, модель TCH AL 800



a)



б)

Рис. 4.1 – Розточна головка ISCAR TCH AL 800:

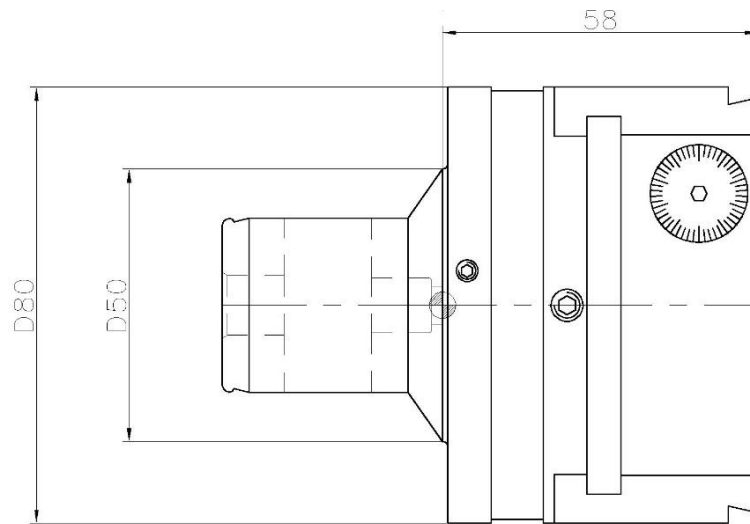
а) Креслення інструменту

б) Робоча модель

Розточна головка TCH AL 800 використовується для розточування отворів з великими діаметрами. Особливість даної конструкції полягає в тому, що можна одночасно закріплювати два різця, це дає змогу обробити отвір з достатньо великою точністю. Одною з переваг є змога встановити інструмент на необхідний діаметр, без переустановки.

Є можливість закріпити декілька різців, що є ефективним використанням ресурсу різального інструменту, оскільки в контакті з заготовкою більша кількість різальних кромки і навантаження рівномірно розподіляється на кожну із них. Недоліком є підвищена вібрація.

- Роз’ємна розточна головка для встановлення одного різця ISCAR BHF MB50-MB80, з можливістю регулювання на певний діаметр отвору.



а)



б)

Рис. 4.2 – Роз’ємна розточна головка ISCAR BHF MB50-MB80:

а) Креслення інструменту б) 3D модель

Дана модель інструменту використовується для напівчистої та чистої обробки отворів, через такі елементи, як ріфлення посадкової поверхні та при жорсткому механічному закріпленні конструкція має високу жорсткість. Присутній механізм мікрометричної подачі інструменту, дає змогу досягнути точних розмірів при оптимальних режимах різання.

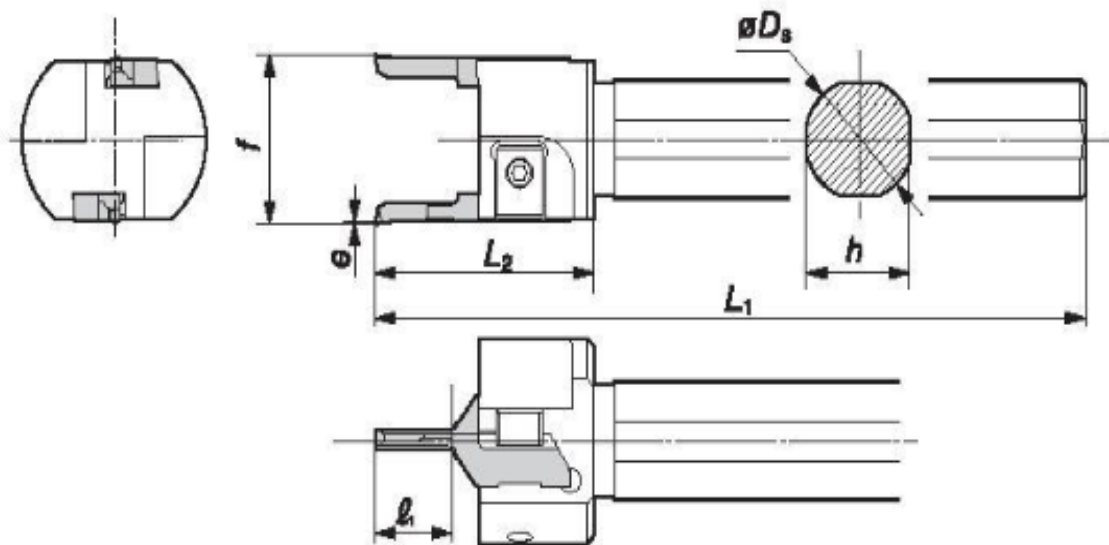
Існують також конструкції з механізмом балансування, який зменшує вібрації. Їхньою відмінністю є встановлення різального інструменту в осьовому напрямку. Такий тип інструменту можна використовувати не лише на вертикально-фрезерних та розточувальних верстатах, а й на токарно-карусельних верстатах з декількома револьверними головками.

Серед розточних головок часто зустрічаються конструкції, які використовують, для точіння та розточування. Частіше це цільні конструкції.

Цільні розточні головки мають цільнометалевий корпус із з'єднаними різальними елементами.

Нижче представлені конструкції цільних розточних головок із змінними різальними елементами, які приводяться в обертальний рух на верстаті:

- цільна розточна головка із двома різальними елементами SumiSmall SKBB type.



а)

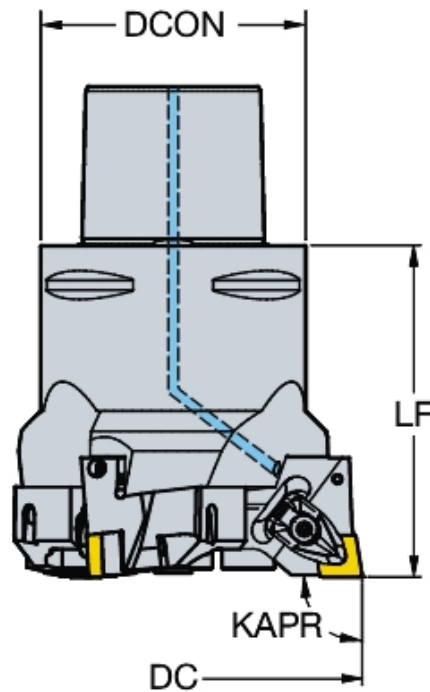


б)

Рис. 4.3 – Цільна розточна головка SumiSmall CKBB type:

а) Креслення б) 3D модель

- цільна розточна головка зі змінними різальними елементами SANDVIK CoroBore BR30



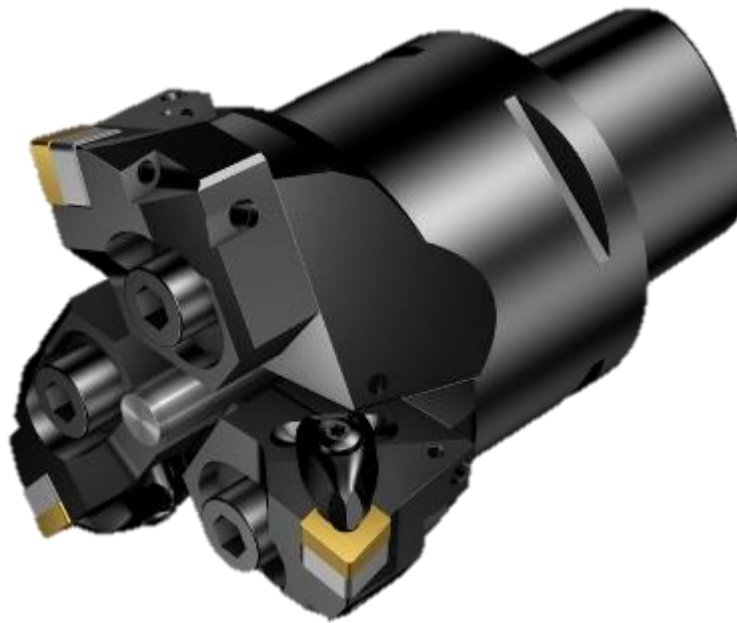
а)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

53



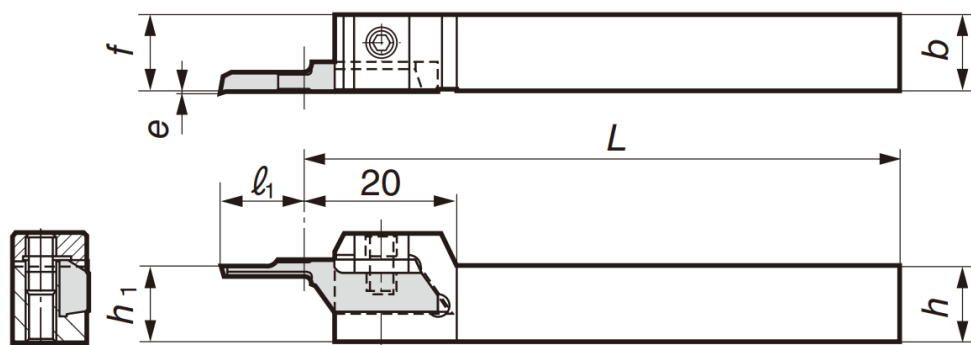
б)

Рис. 4.4 – Цільна розточна головка Sandvik CoroBore BR30:  
а) Креслення б) 3D модель

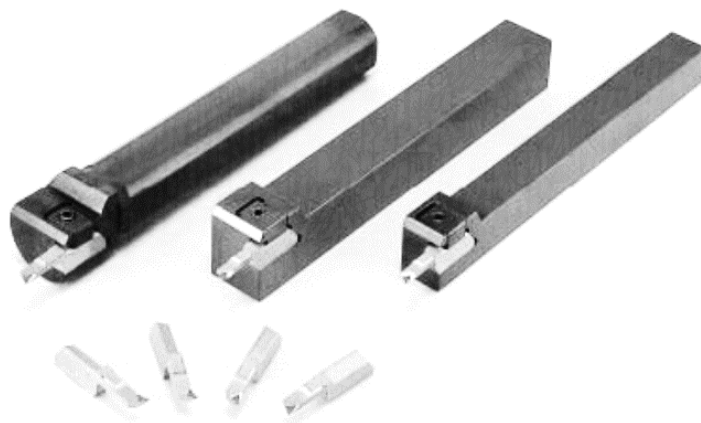
В приведених вище прикладах видно, що конструкції використовують змінні твердосплавні пластини. Це значно підвищує ефективність використання інструменту з можливістю підбору різних комбінацій геометричних параметрів ріжучої частини, оскільки пластини можна швидко замінити без зняття інструменту.

Тепер розглянемо інші розточні головки, що приводяться у поступальний рух механізмами верстати, а обертальний рух здійснює заготовка:

- розточна головки SumiSmall СКВ.



а)

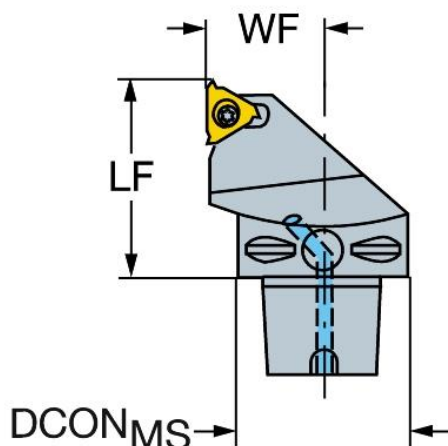


б)

Рис. 4.5 – Цільна розточна головка SumiSmall CKB R:  
а) Креслення б) 3D модель

Така конструкція використовує твёрдосплавні пластини з механічним кріпленням, завдяки цьому набувається жорсткість різальної частини. Хвостовик має квадратну форму, тому можна встановити на площину та зафіксувати у револьверах верстатів. Недолік конструкторії полягає у складності вертикального закріплення, бо сили різання будуть намагатися змістити інструмент під час обробки, відповідно необхідні більші сили затиску хвостовика, через це швидко зношується.

— розточна головка SANDVIK C4-266RFGZ



а)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

55



б)

Рис. 4.5 – Розточна головка SANDVIK C4-266RFGZ:

а) Креслення б) 3D модель

Дана розточна головка має ряд особливостей будови: змінні різальні елементи – твердосплавні пластини, канал підводу ЗОР у місце контакту інструменту з заготовкою, механічне кріплення пластини. Присутній новий елемент – хвостовик CAMFIX, яка має дуже високу точність встановлення.

– різальна головка CoroTurn Prime SL-CP-30AL:



Рис. 4.6 – Розточна головка SANDVIK CoroTurn Prime SL:

Креслення та 3D модель

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Спеціалізована головка CoroTurn Prime SL, дозволяє використовувати революційну технологію PrimeTurning™ для внутрішньої токарного оброблення. Сама технологія с інструментами для зовнішнього точіння була представлена на ринку в минулому році.

На відміну від звичайного внутрішнього точіння PrimeTurning™ допускає рух інструменту від патрона до виходу з отвору (зсередини назовні). Така траєкторія дозволяє використовувати інструмент з невеликим головним кутом в плані, що допомагає підвищити продуктивність обробки. Однак при необхідності доступний варіант зі зворотним гніздом під пластину, що виконує точіння за технологією PrimeTurning™ в традиційному напрямку (зовні всередину).

«Обробка зсередини назовні завдяки новій голівці CoroTurn Prime SL в поєднанні з технологією PrimeTurning™ дозволяє оперативно відводити стружку із зони різання і контролювати процес стружкодробління» - розповідає Хокан Ерікссон, фахівець із загального точіння компанії Sandvik Coromant.

## 4.2 Обґрунтування вибору конструкції інструменту

Так, як максимальна кількість операцій обробки основи припадає на токарне оброблення, відповідно основним технологічним інструментом є різець. З каталогів сучасних фірм-виробників за базову конструкцію прийнято конструкцію головки розточної CoroTurn Prime.

Даний інструмент є технологічним, продуктивним, має високу надійність, набув широко використання в обробленні на верстатах з ЧПК. Дана головка має форму, що дає змогу оброблювати складну поверхню із достатньо великою загальною глибиною різання, тобто різальна пластина може ефективно обробити складну поверхню.

Отже в цьому розділі було розглянуто різні конструкції різальних інструментів з метою знаходження кращих факторів для створення власного інструмента.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ

У цьому розділі розглянемо технологічний процес виготовлення корпусу розточної головки, також розрахуємо припуски та режими різання для однієї з операцій.

### 5.1 Вибір заготовки

В машинобудуванні заготовки ділять на такі види: виливки, поковки, штамповані, прокат, зварні заготовки. Вибір здійснюють дивлячись на такі фактори: матеріал деталі, розміри та форму, умови роботи, вимоги по точності і тип виробництва.

«Штамповки забезпечують велику точність заготовки, чим поковки, але застосування їх обмежується високою вартістю штамів. При виготовленні деталей прокатного обладнання штампування застосовують рідко. Вони можуть бути використані в якості виготовлення великої кількості однотипових деталей.

Прокат застосовують для виготовлення деталей гладких, з невеликим перепадом ступенів, а також для деталей, профіль яких відповідає профілю прокату. Із прокату виготовляють багато деталей прокатного обладнання: осі роликів рольганів, вали редукторів та ін.

Зварні заготовки представляють собою деталь, зварену із декількох відливок, поковок або шматків прокату; застосовуються вони у випадку виготовлення деталей великих розмірів.» [6]

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.2 Базовий технологічний маршрут виготовлення

*Заготівельна операція:*

A<sub>31</sub> – Відрізання заготовки дисковою пилою;

*Основні механічні та фінішні операції*

A<sub>M1</sub> – Токарне оброблення торцю на токарному верстаті

A<sub>M2</sub> – Токарне оброблення циліндричної поверхні на токарному верстаті

A<sub>M3</sub> – Фрезерування робочої частини на верстаті з ЧПК

A<sub>M4</sub> – Свердління отворів Ø6,5 мм під кріплення на оправці

A<sub>M5</sub> – Свердління отворів Ø10,5 мм під кріплення на оправці

A<sub>M6</sub> – Фрезерування пазу під пластину кінцевою фрезою на фр. верстаті

A<sub>M7</sub> – Свердління отвору для різьбового кріплення твёрдосплавної пластини

A<sub>M8</sub> – Чистове фрезерування пазу під пластину

A<sub>M9</sub> – Нарізання різьби M4×0,7 для механічного кріплення різального елемента

A<sub>M10</sub> – Шліфування торця кругло-шліфувальним верстатом

A<sub>M11</sub> – Поновлення різьби

*Термічні операції, підвищення зносостійкості:*

A<sub>T1</sub> – Термічна операція, закалка у мастилі (40X) твердість 45...48HRC;

*Фінішні операції:*

A<sub>Ф1</sub> – Контроль;

A<sub>Ф2</sub> – Маркування;

A<sub>Ф3</sub> – Пакування.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

### 5.3 Розрахунок припусків на механічну обробку

Важливо розрахувати припуски на оброблення поверхонь, приведемо розрахунок припуску для операцій технологічного процесу згідно [7].

Зовнішнє точіння на діаметр 40 мм.

$$2z_{i...min} = 2(R_{z(i-1)} + T_{(i-1)} + \rho_{(i-1)}) - \text{мінімальний припуск}$$

по діаметру;

$$\rho = \sqrt{\rho_k^2 + \rho_{\psi}^2}; \rho = \sqrt{52^2 + 25^2} = 57.7 \text{ мкм};$$

$$\rho_k = \Delta_k l = 1.3 \cdot 40 = 52 \text{ мкм} - \text{величина кривизни заготовки};$$

$$\rho_{\psi} = 0.25 \cdot \sqrt{\delta^2 + 1} = 0.25 \cdot \sqrt{100^2 + 1} = 25 \text{ мкм} - \text{величина зміщення осі заготовки};$$

$$T = 250 \text{ мкм};$$

$$R_z = 150 \text{ мкм} - \text{якість поверхні заготовки};$$

$$2z_{i...min} = 2(150 + 250 + 52) = 904 \text{ мкм} \text{ мінімальний припуск на чорнову обробку};$$

$$T = 120 \text{ мкм}; R_z = 120 \text{ мкм} - \text{якість поверхні після чорнової обробки};$$

$$2z_{i...max} = 2(z_{i...min} + \delta_{D(i-1)} + \delta_{Di}) = 904 + 120 + 120 = 1144 \text{ мкм} - \text{максимальний припуск на чорнову обробку};$$

$$2z_{i...min} = 2(120 + 120 + 52) = 584 \text{ мкм} - \text{мінімальний припуск на напівчистову обробку};$$

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Тех операції та переходи обробки елементарних поверхонь	Елементи припуску				Розрахунковий припуск $2Z_{min}$ , мкм	Допуск $TD$ , мкм	Розрахунковий розмір, мм	Прийняті розміри по переходах, мм		Граничне значення припусків, мкм	
	$Rz$	$T$	$\rho$	$E$				$d_{min}$	$d_{max}$	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Точіння чорнове	150	250	57,7	-	904	250	40	41	40,74	1144	904
Точіння напівчистове	120	120	57,7	-	584	120	40	40	18,12	704	584

Обробка торцю.

Якість поверхні ( $Rz + T$ ) = 0.2 мм;

$2Z_{i...min} = (R_{z(i-1)} + T_{(i-1)} + \sqrt{\rho_{(i-1)}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$  – мінімальний припуск;

$\rho = \sqrt{\rho_{cm}^2 + \rho_{экс}^2}$ ;  $\rho = \sqrt{0,25^2 + 0,5^2} = 560$  мкм;

де  $\rho_{cm} = 0,25$  мм  $\rho_{экс} = 0,5$  мм;

$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_k + \varepsilon_{ц}} = \sqrt{280^2 + 190^2} = 340$  мкм – похибка встановлення;

$z_{i...min} = 200 + \sqrt{560^2 + 340^2} = 855$  мкм;

Тех операції та переходи обробки елементарних поверхонь	Елементи припуску			Розрахунковий припуск $2Z_{min}$ , мкм	Допуск $TD$ , мкм	Розрахунковий розмір, мм	Прийняті розміри по переходах, мм		Граничне значення припусків, мкм	
	$Rz+T$	$\rho$	$\varepsilon$				$d_{min}$	$d_{max}$	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Торець	200	560	340	855	200	41	41,2	41	855	1055

Фрезерування місця під пластину

Припуск на фрезерування визначається за формулою:

$$Z_{i...min} = R_{z(i-1)} + T_{(i-1)} + \rho_{(i-1)}^2 + \varepsilon_{yi}^2$$

$\varepsilon_{yi}$  – похибка установки заготовки;

$$Rz = 120 \text{ мкм}; T = 120 \text{ мкм};$$

$\rho_{(i-1)} = 57.7$  – просторове відхилення на попередній операції;

$$2Z_{i...max} = 120 + 120 + 57,7 + 340 = 637,7 \text{ мкм} -$$

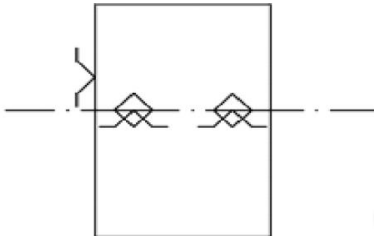
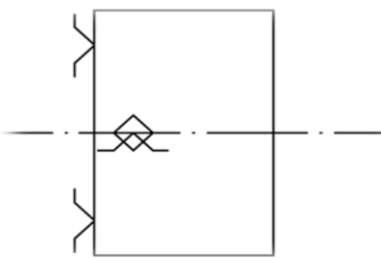
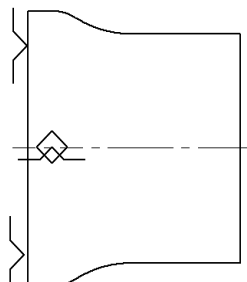
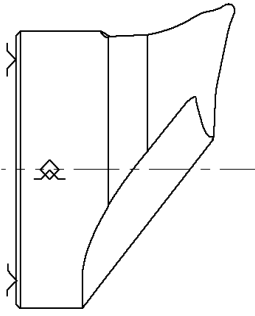
мінімальний допуск на фрезерування місця під пластини;

$$Z_{i...max} = Z_{i-1min} + \delta_{i-1} + \delta_{p-i} = 637,7 + 120 + 120 = 877,7 \text{ мкм} -$$

максимальний допуск.

## 5.4 Таблиця технологічного процесу

Таблиця 5.4 – Технологічний процес виготовлення інструменту

№	Найменування операції	Ескіз операції	Верстат, Інструмент	Пристосування
005	Відрізання заготовки дисковою пилою 34 мм		Верстат відрізний, пила сегмента	Тиски з призмою
010	Токарна обробка торця з боку розташування кріплень		Токарний верстат; різець підрізний	Трикулачковий патрон
015	Токарна обробка зовнішнього контуру на всю довжину		Токарний верстат HAAS CL-1; різець прохідний упорний	Трикулачковий патрон
020	Фрезерування робочого контуру головки		Фрезерний верстат з ЧПК; фреза кінцева	Спеціальне пристосування

025	Свердління отворів Ø6,5 мм під кріплення на оправці		Вертикально фрезерний верстат; свердло	Спеціальне пристосування
030	Свердління отворів Ø10,5 мм під кріплення на оправці		Вертикально фрезерний верстат; свердло	Спеціальне пристосування
035	Фрезерування місць під різальний елемент		Фрезерний верстат з ЧПК; фреза кінцева	Спеціальне пристосування
040	Свердління отвору для кріплення різального елемента		Вертикально фрезерний верстат; свердло	Спеціальне пристосування
045	Нарізання різьби в отворі для кріплення різального елемента		Вертикально фрезерний верстат з ЧПК; мітчик	Спеціальне пристосування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

64



050	Шліфування торця		Кругло-шліфувальний верстат, шліфувальний диск	Універсальний збірний пристрій
055	Закалювання у мастилi			
060	Контроль якості			
065	Маркування			
070	Пакування			

## 5.5 Розрахунок режимів різання

Після припусків проводимо розрахунок режимів різання інструменту при обробці поверхонь інструмента [8].

Точіння зовнішньої поверхні на Ø40 мм (різець з різальною пластиною Т15К6)

$S_t = 0,5$  мм/об – подача;

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_{\mu V} K_{nV} K_{uV};$$

$$K_{\mu V} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{nv} = 0.8 \cdot \left( \frac{750}{600} \right)^1 = 1;$$

$$V = \frac{350}{40^{0.2} 2.5^{0.5} 0.5^{0.35}} \cdot 1 \cdot 0.9 \cdot 1 = 167.3 \frac{\text{м}}{\text{хв}} - \text{швидкість різання}$$

$$P_{xyz} = 10 C_p t^x S^y V^n K_{mP} K_{\phi P} K_{\gamma P} K_{\lambda P} K_{rP};$$

$$K_{mP} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{600}{750} \right)^{0.75} = 0.85;$$

Таблиця 5.5 – Коефіцієнти токарного оброблення

	$C_p$	$x$	$y$	$n$	$K_{mP}$	$K_{\phi P}$	$K_{\gamma P}$	$K_{\lambda P}$	$K_{rP}$
--	-------	-----	-----	-----	----------	--------------	----------------	-----------------	----------

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						65

x	339	1	0.5	-0.4	0.85	1.17	1.4	0.85	1
y	243	0.9	0.6	-0.3	0.85	0.5	1.4	1.25	0.82
z	300	1	0.5	-0.4	0.85	1.17	1.4	0.85	1

Осьова сила:

$$P_x = 10 \times 339 \times 2.5^1 \times 0.5^{0.5} \times 167.3^{-0.4} \times 0.85 \times 1.17 \times 1.4 \times 0.85 \times 1 = 914.9 \text{ Н}$$

Радіальна сила:

$$P_y = 10 \times 243 \times 2.5^{0.9} \times 0.5^{0.6} \times 167.3^{-0.3} \times 0.85 \times 0.5 \times 1.4 \times 1.25 \times 0.821 = 480.1 \text{ Н}$$

Тангенційна сила:

$$P_z = 10 \times 300 \times 2.5^1 \times 0.5^{0.75} \times 167.3^{-0.15} \times 0.85 \times 0.89 \times 1.1 \times 1 \times 0.93 = 1601.2 \text{ Н}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60} = \frac{1601.2 \cdot 167.3}{1020 \cdot 60} = 4.38 \text{ кВт.}$$

Свердління отвору Ø10.5 мм (свердло Ø10.5 мм, Р6М5).

$$S = 0.25 \frac{\text{мм}}{\text{об}} - \text{подача};$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} K_{mV} K_{uV} K_{lV} = \frac{9.8 \cdot 10.5^{0.4}}{50^{0.2} 0.25^{0.5}} \cdot 0.86 \cdot 1 \cdot 1 = 19.74 \frac{\text{м}}{\text{хв}};$$

$$K_{mV} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^n = 0.7 \cdot \left( \frac{750}{600} \right)^{0.9} = 0.86;$$

$$M_{KP} = 10 C_M D^q S^y K_P ;$$

$$P_0 = 10 C_P D^q S^y K_P ;$$

$$K_P = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{600}{750} \right)^{0.75} = 0.85;$$

$$M_{KP} = 10 \cdot 0.0345 \cdot 10.5^2 \cdot 0.25^{0.8} \cdot 0.85 = 10.66 \text{ Нм} - \text{крутний момент}$$

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 10.5^1 \cdot 0.25^{0.7} \cdot 0.85 = 2299.7 \text{ Н} - \text{осьова сила.}$$

Токарне оброблення торця (різець з пластиною Т15К6).

Обираємо рекомендовану подачу при обробленні торцевої поверхні:

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$S_t = 0.25 \frac{\text{мм}}{\text{об}} - \text{подача};$$

Швидкість різання при підрізанні торцю рекомендовано обрати на 20% більшу ніж при обробленні зовнішньої циліндричної поверхні, тому

$$V = 1.2 \cdot 167.3 = 201 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 201}{3.14 \cdot 40} = 1600 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Шліфування торцю. Параметри шліфувального круга 2ТП: Ø55 мм, висота – 15 мм, кріпильний отвір Ø10 мм, матеріал – електрокорунд 14А, твердість СМ2, зв'язка – керамічна К8.

Рекомендована швидкість круга  $V_K=20$  м/с.

Рекомендовані значення подачі: повздовжньої 4 м/хв, а поперечної –0.05 мм/подв.хід.

$$n_K = \frac{60 \cdot 1000 \cdot V}{\pi \cdot D_K} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 20}{3.14 \cdot 55} = 6950 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

$$V_D = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y \cdot B^y} \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

де  $C_v = 0.28$ ,  $K = 0.3$ ,  $m = 0.5$ ,  $x = 1$ ,  $y = 1$ ,  $T = 20$  хв

$$V_D = \frac{0.28 \cdot 55^{0.3}}{20^{0.5} \cdot 0.2 \cdot 5} = 0.21 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

$$n_D = \frac{60 \cdot 1000 \cdot V_D}{\pi \cdot D_{\text{сер}}} = \frac{60 \cdot 1000 \cdot 0.21}{3.14 \cdot 45} = 89.2 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

$$\text{де } D_{\text{сер}} = \frac{40+50}{2} = 45 \text{ мм}.$$

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

В технологічній частині було розраховано припуски та режими при обробленні елементів конструкції інструмента. Сформована технологія виготовлення різальної головки.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРИСТОСУВАННЯ

### 6.1 Концепція та компоненти

Відомо, що в наш час кожне виробниче підприємство використовує технологічне оснащення. Пристосування прямопропорційно впливає на кількість та якість продукції, що вироблюється. Тому дуже важливим є його своєчасне застосування. Чим краще пристосування тим швидше буде виготовлятися одиниця продукції та тим якіснішою вона буде, через зниження часу на виконання ручних операцій. Також з гарним пристосуванням підвищується точність і надійність, а трудомісткість навпаки зменшується.

Створення, розробка та виготовлення технологічної оснастки не є легким завданням. Навпаки, це дуже трудомісткий процес. Потрібно йти в ноги з сучасними тенденціями та розвитком технологій, науки і техніки. Потрібно мати високий рівень кваліфікації робітника.

На рис. 6.1 показано корпус різальної головки. Задачею для виконання є обробка поверхонь основи маніпулятора. Заготовка – тіло обертання, можливим варіантом встановлення для оброблення вказаних поверхонь буде трикулачковий патрон встановлений на плиті верстата з ЧПК.

Тому задачею є створення перехідного компоненту для закріплення трикулачкового патрона на плиті верстата з ЧПК. Потрібно також розрахувати похибки базування заготовки.



- Похибка встановлення по довжині. В самоцентрівних патронах ( $\epsilon_B = 0$  мкм).

Заготовка буде закріплюватися в такому пристосуванні, трикулачковий самоцентрівний патрон. Потрібно розробити пристосування для його закріплення на плиті верстата з ЧПК. так, як патрон кріпиться на конус, потрібно в пристосування додати відповідний 1:5. Кріпитись таке пристосування буде за допомогою пальця (рис. 6.3) та напрямних сухарів.

Обраний патрон 160 мм. Кулачки потрібно розточити на діаметр 50 мм, для кращої точності встановлення.

Пази столу верстата з ЧПК обрано квадратні з пазами 14 мм. Пристосування (рис.6.4) буде прикріплено до столу гвинтами.

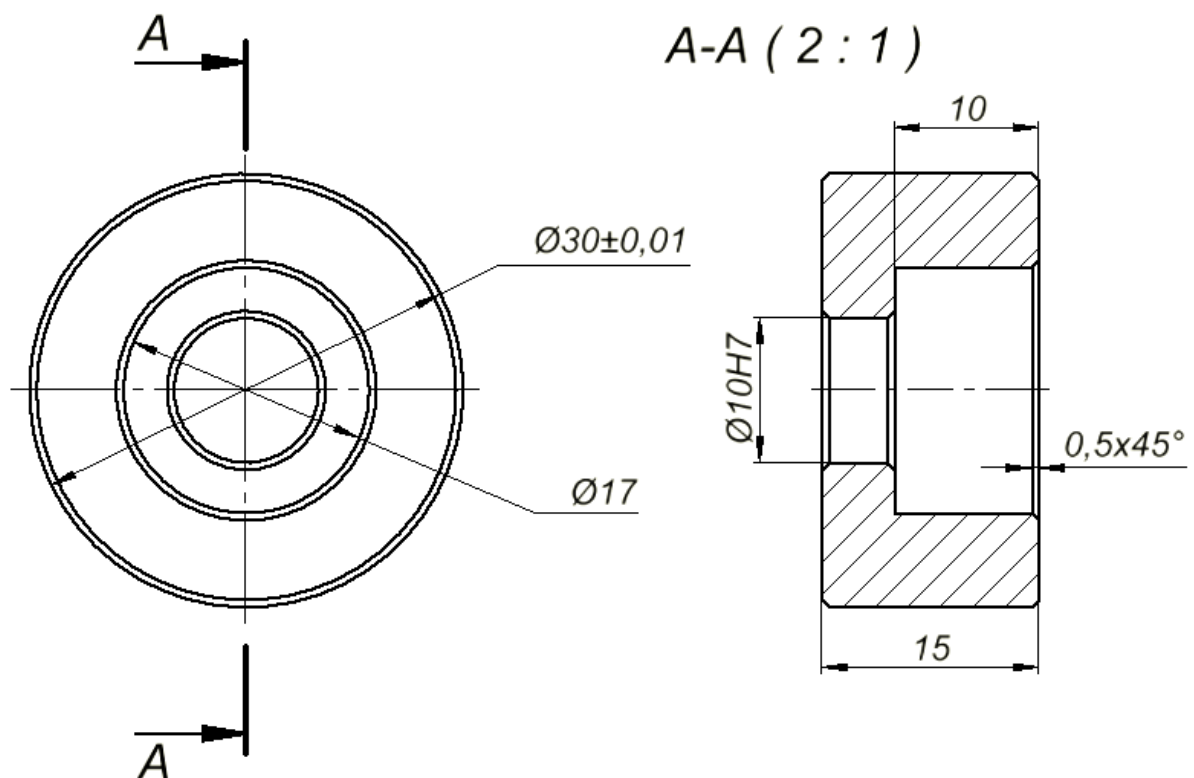


Рис. 6.3 – Палець

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

71

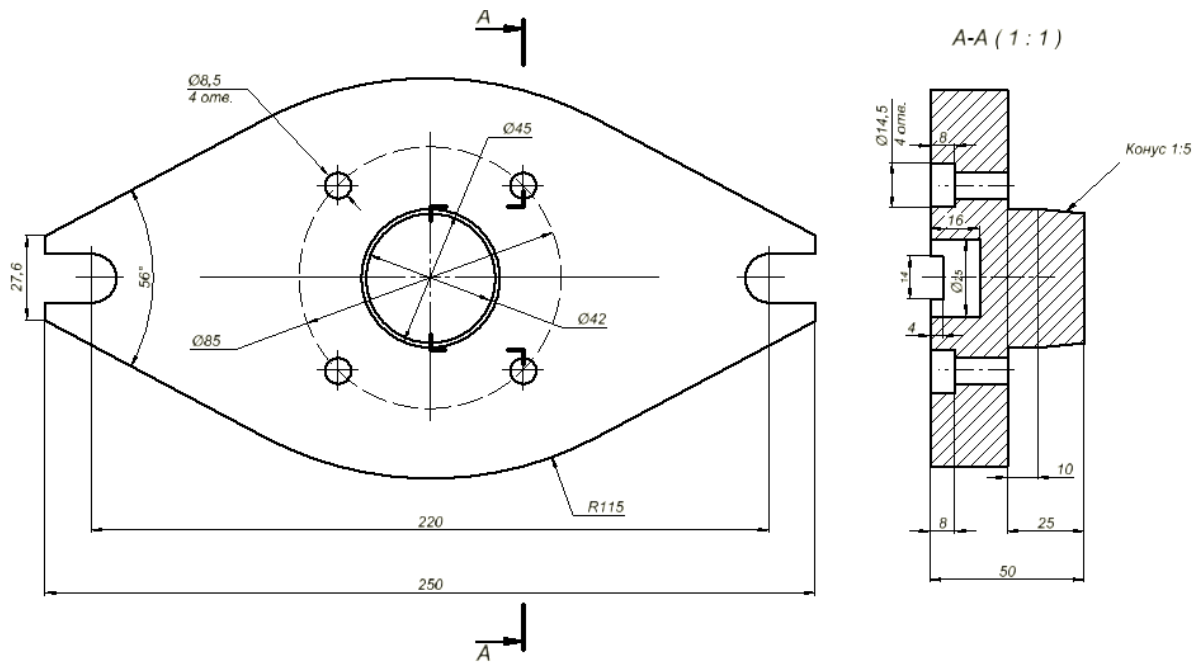


Рис. 6.4 – Пристосування

Шпонки (рис.6.5) та їх розміри обрано згідно [9].

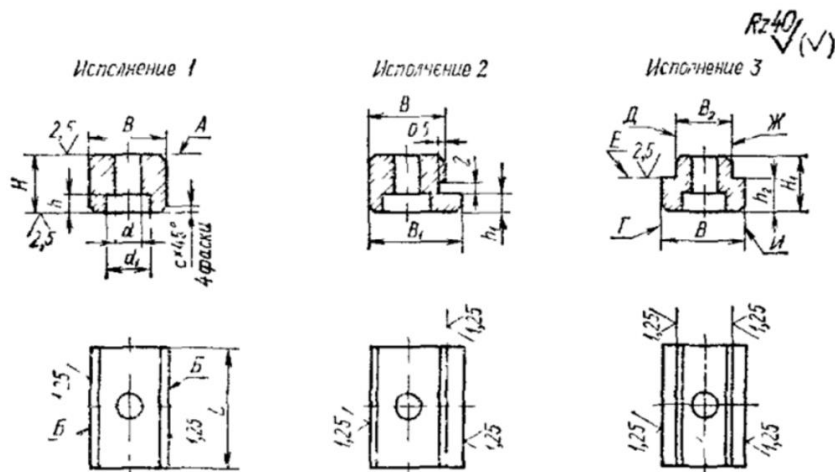


Рис. 6.5 – Шпонки

Для «пальця» обрано виконання №3, а напрямні сухарі виконання №1.

## 6.2 Визначення зусиль затиску заготовки

Свердління отвору Ø10.5 мм (свердло Ø10.5 мм, Р6М5).

$$S = 0.25 \frac{\text{мм}}{\text{об}} - \text{подача};$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} K_{mv} K_{uv} K_{lv} = \frac{9.8 \cdot 10.5^{0.4}}{50^{0.2} 0.25^{0.5}} \cdot 0.86 \cdot 1 \cdot 1 = 19.74 \frac{\text{м}}{\text{хв}};$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

72



$$K_{mV} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^n = 0.7 \cdot \left( \frac{750}{600} \right)^{0.9} = 0.86;$$

$$M_{KP} = 10 C_M D^q S^y K_P ;$$

$$P_0 = 10 C_P D^q S^y K_P ;$$

$$K_P = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^n = \left( \frac{600}{750} \right)^{0.75} = 0.85;$$

$$M_{KP} = 10 \cdot 0.0345 \cdot 10.5^2 \cdot 0.25^{0.8} \cdot 0.85 = 10.66 \text{ Нм} - \text{крутний момент}$$

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 10.5^1 \cdot 0.25^{0.7} \cdot 0.85 = 2299.7 \text{ Н} - \text{осьова сила.}$$

Розраховуємо сили затиску при обробці.

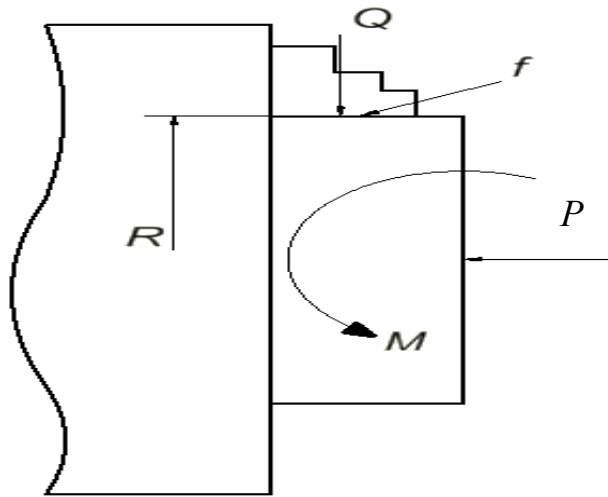


Рис. 6.6 – Схема сил затиску

Відомо:  $M_{KP}=10,66 \text{ Нм}$ ,  $P_0=2,3 \text{ кН}$ ,  $f=0,2$

$$Q = K \cdot M / (3 \cdot f \cdot r) - \text{сила затиску}$$

$$Q = 3.24 \cdot \frac{43.12}{3 \cdot 0.18 \cdot 0.11} = 1818.2 \text{ Н.}$$

$$K_p = K_{\mu p} K_{\varphi p} K_{\gamma p} K_{\lambda p} K_{rp} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 3,24 - \text{коэф. запасу}$$

Створене пристосування дозволяє встановити трикулачковий патрон на стіл верстата з ЧПК та зменшити похибки при обробці елементів інструмента.

Розраховано сили затиску при обробці.

## 7 ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК

Сучасні верстати з ЧПК легко порграмуються використовуючи G-код. На таких верстатах обробка проводиться дуже швидко і за найкращою стратегією, яка дає можливість виграти у часі.

Для кожної деталі потрібно писати свою програму, але на даному етапі розвитку людство навчило комп'ютери генерувати цей програмний код без участі людини. Людина лиш проводить налаштування.

Для створення програми використовуємо САМ програми, які дають змогу моделювати процес оброблення при наявності 3D моделі відповідної деталі.

Для моделювання процесу обробки будемо використовувати створену модель бази основи маніпулятора (рис. 7.1)

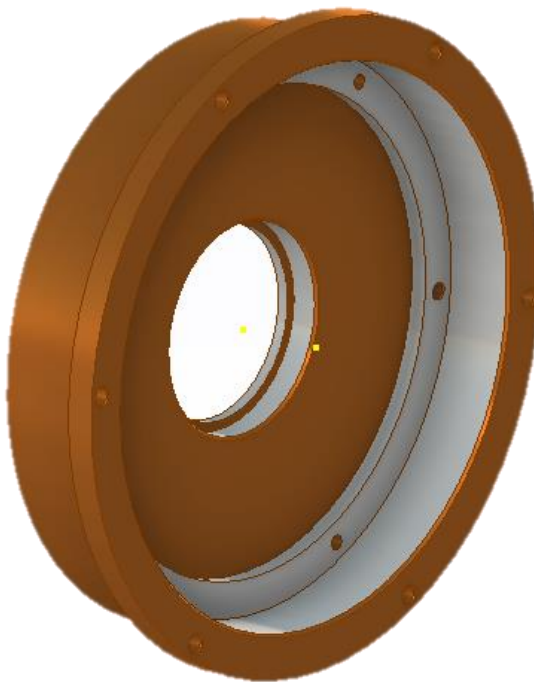


Рис. 7.1 – База основи маніпулятора

Перш за все потрібно створити нове налаштування «New setup» (рис. 7.2), в якому потрібно вказати тип оброблення, обрати верстат та заготовку. Обираю верстат «Turning or mill/turn» та циліндричну форму заготовки.

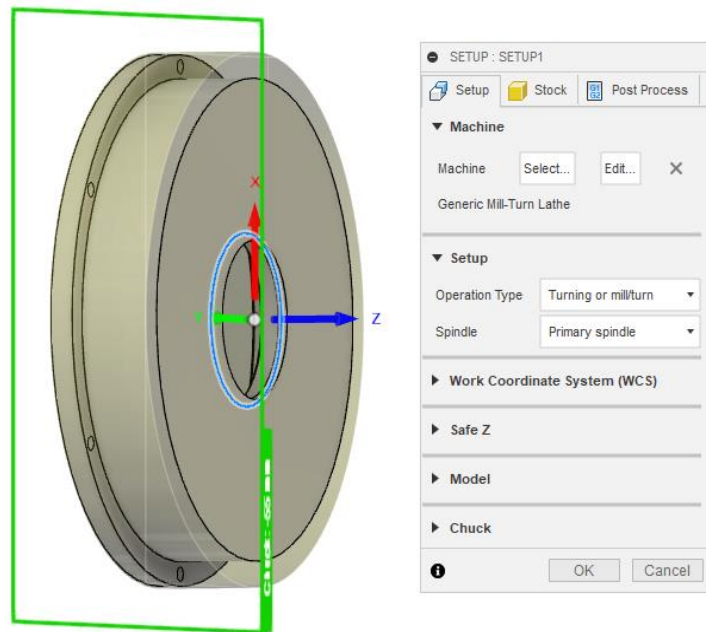


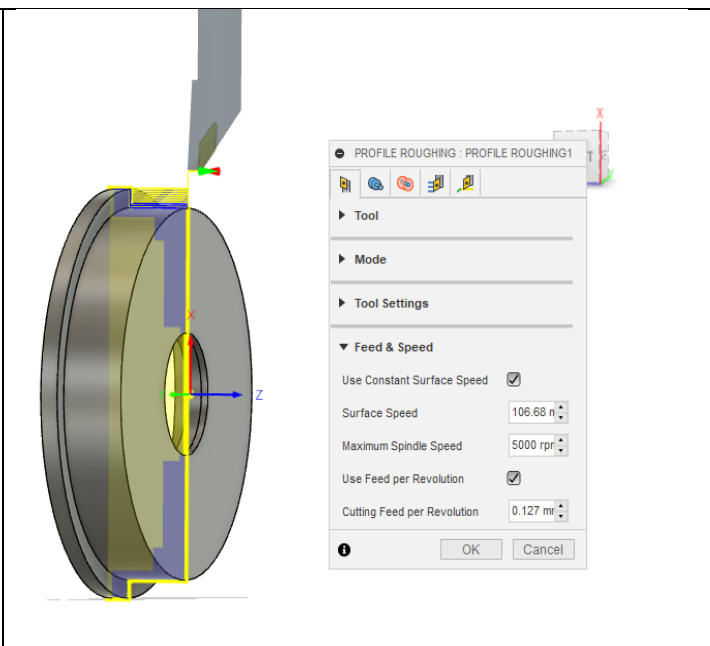
Рис. 7.2 – Перше налагодження

Тепер можемо перейти до початку оброблення. Вибираємо відповідну токарну операцію. Щоб програма ігнорувала отвори та різні вирізи потрібно увімкнути функцію «Spin Profile». Операції над заготовкою у першому налагодженні подані в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Операції першого налаштування

Назва операції	Ілюстрація
Токарна обробка торцю	

Токарне оброблення зовнішньої поверхні.



Для подальшої обробки потрібно створити нове налаштування «New setup», і обрати токарну обробку внутрішньої поверхні «Turning».

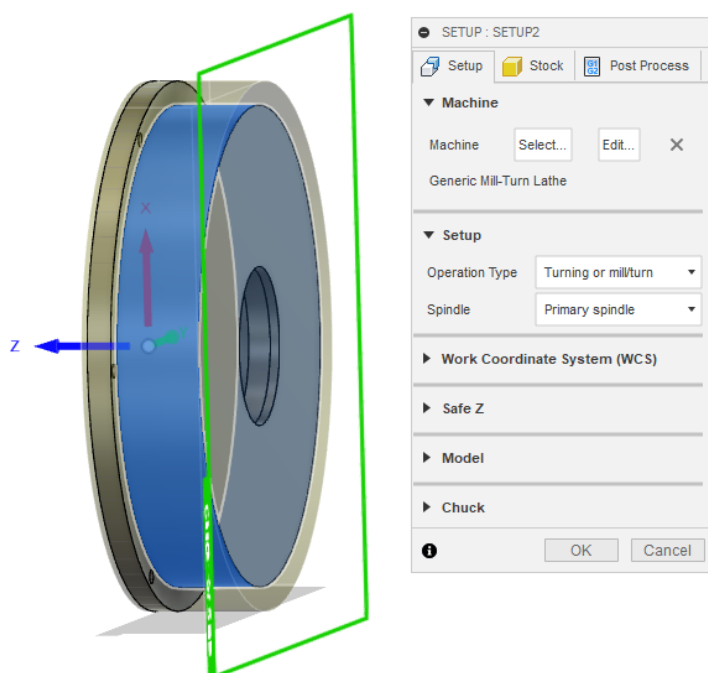


Рис. 7.3 – Друге налаштування

Тепер можна продовжити проведення обробки (табл. 7.2).

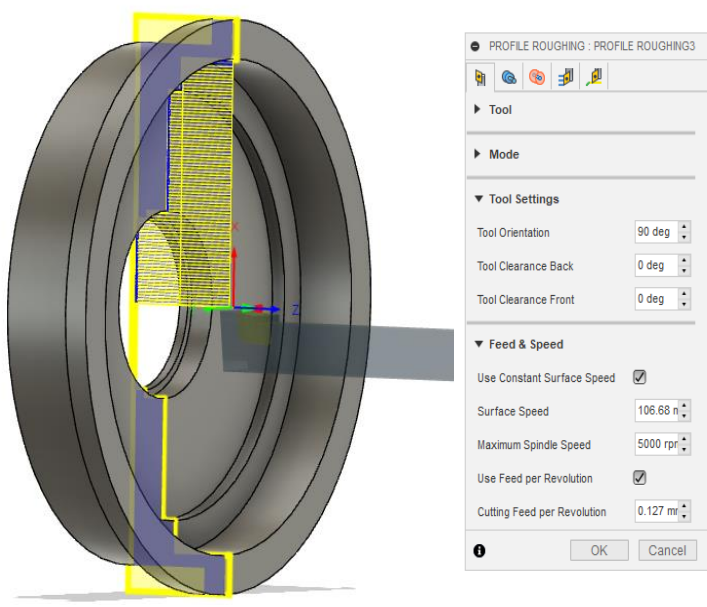
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

76

Таблиця 7.2 – Операції другого налаштування

Назва операції	Ілюстрація
Токарна обробка внутрішньої поверхні	 <p>The illustration shows a 3D model of a mechanical part with a profile roughing tool path highlighted in yellow. A settings panel for 'PROFILE ROUGHING : PROFILE ROUGHING3' is displayed on the right, showing tool settings and feed &amp; speed parameters.</p> <p><b>PROFILE ROUGHING : PROFILE ROUGHING3</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Tool</b></li> <li><b>Mode</b></li> <li><b>Tool Settings</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tool Orientation: 90 deg</li> <li>Tool Clearance Back: 0 deg</li> <li>Tool Clearance Front: 0 deg</li> </ul> </li> <li><b>Feed &amp; Speed</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Use Constant Surface Speed: <input checked="" type="checkbox"/></li> <li>Surface Speed: 106.68 m</li> <li>Maximum Spindle Speed: 5000 rpm</li> <li>Use Feed per Revolution: <input checked="" type="checkbox"/></li> <li>Cutting Feed per Revolution: 0.127 mm</li> </ul> </li> </ul> <p>Buttons: OK, Cancel</p>

Чергове, третє налагодження на фрезерний верстат для утворення отворів під кріплення бази (рис. 7.4) та зубчастого колеса, а також отворів під штифти.

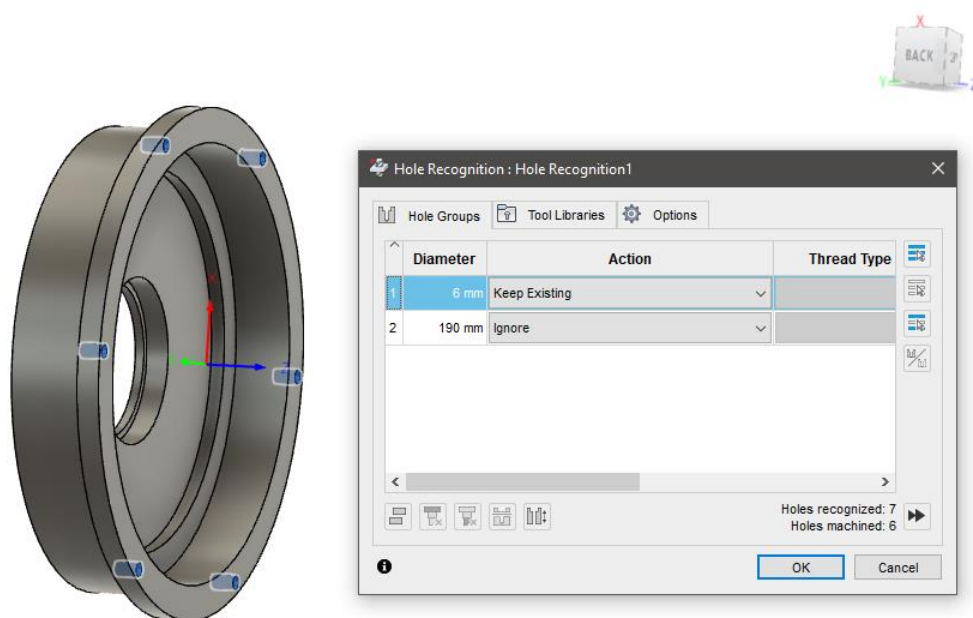
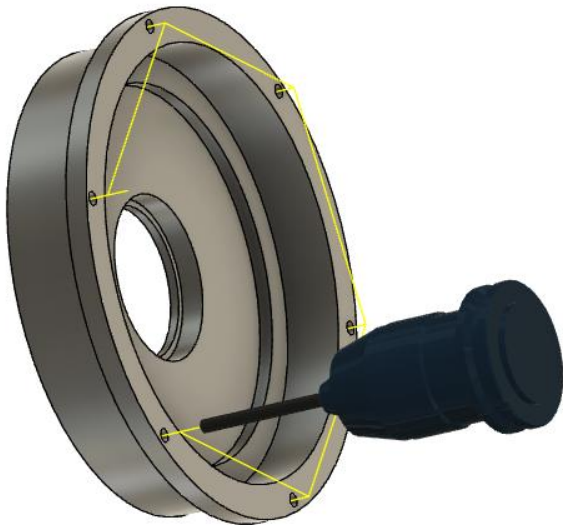
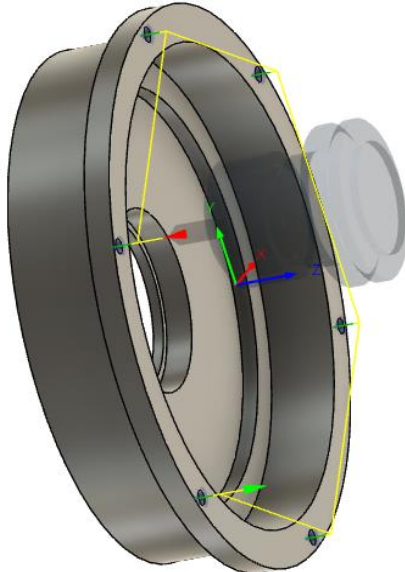


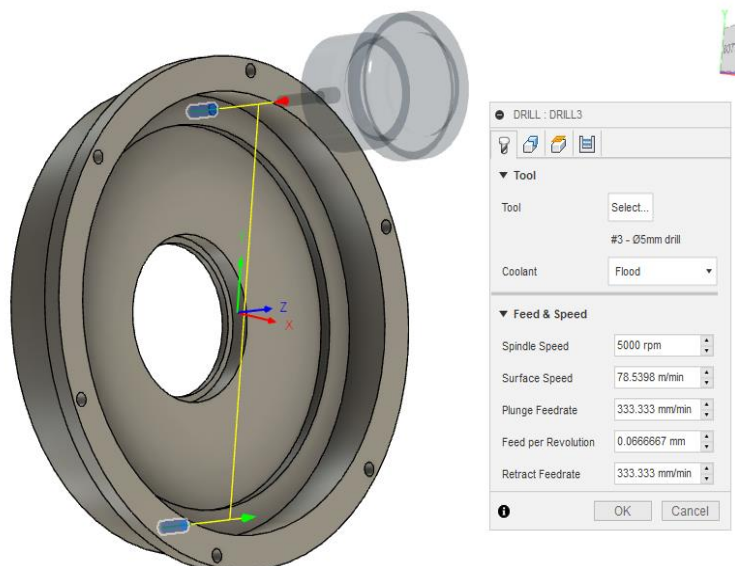
Рис. 7.4 – Налаштування для свердління отворів

Після чергового налагодження продовжуємо обробку нашого виробу (табл.7.3).

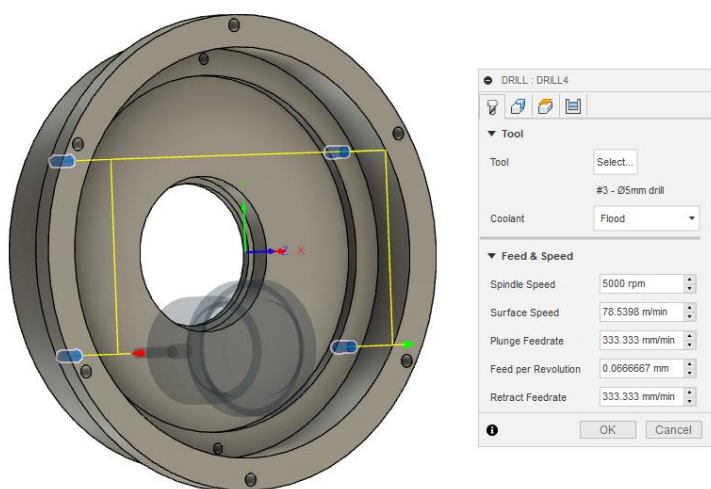
Таблиця 7.3 – Операції свердління, третє налагоджування

Назва операції	Ілюстрація
Свердління отворів для кріплення бази основи маніпулятора.	
Зняття фасок на отворах під кріплення.	

Свердління отворів під  
штифти



Свердління отворів під для  
кріплення зубчастого колеса



Тепер можемо згенерувати G-код для роботи верстата з ЧПК. Потрібно вибрати відповідні налаштування верстату та зберегти окремі коди для кожного налаштування (табл 7.4). Таким чином отримаємо готові документи з кодом під верстат (рис .7.5).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

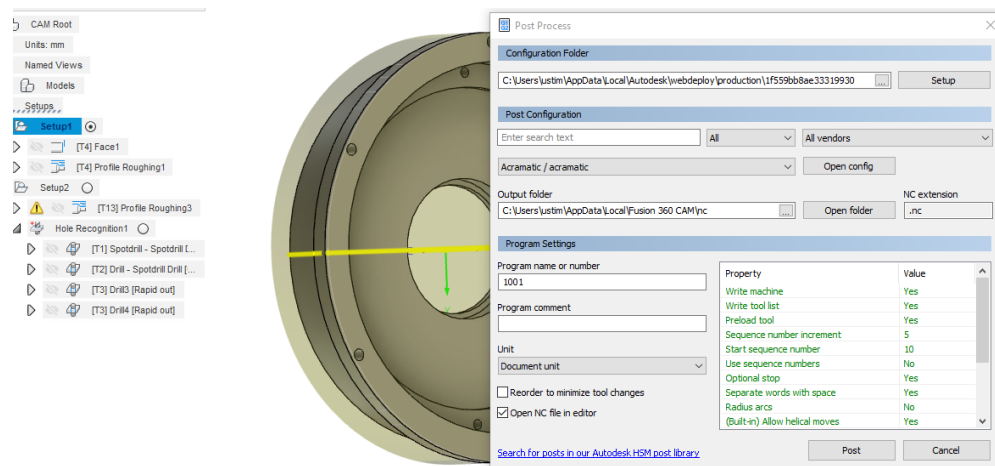
Арк.

79

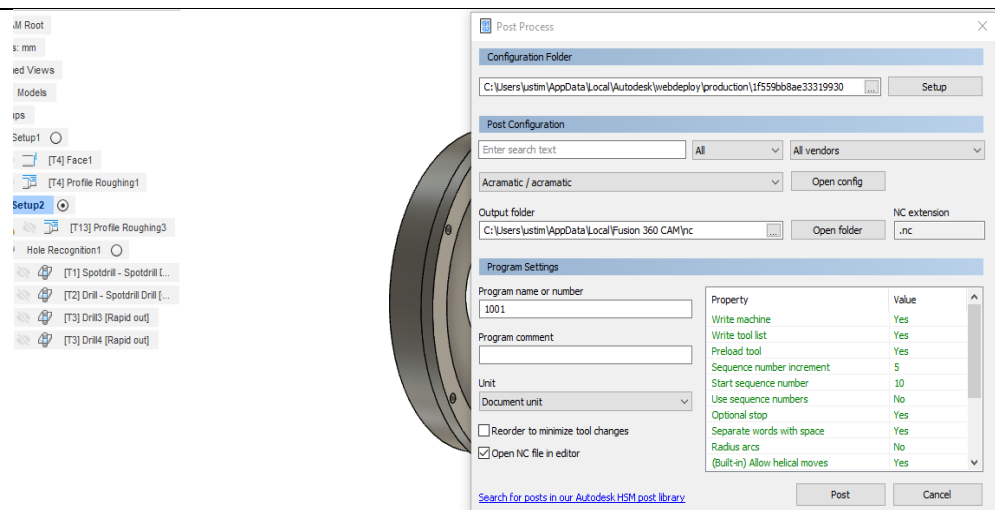


Таблиця 7.4 – Вибір відповідних верстатів з налаштувань

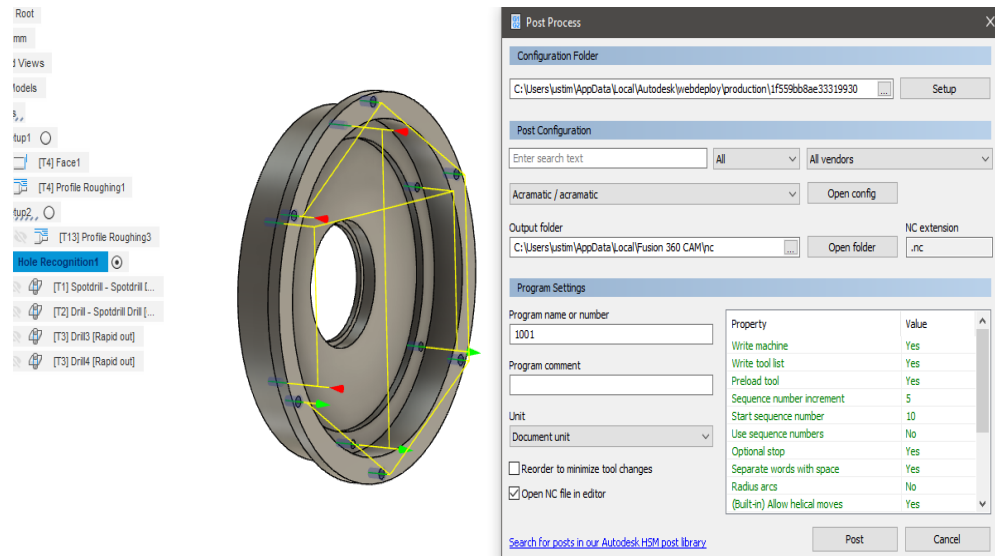
### Налаштування 1



### Налаштування 2



### Налаштування 3





```

C:\Users> ustim > AppData > Local > Fusion 360 CAM > nc > 1003.nc
1  (PGM, NAME="1001")
2  ; MACHINE
3  ;  VENDOR AUTODESK
4  ;  DESCRIPTION GENERIC MILL-TURN LATHE
5  ; T1 D=8 CR=0 TAPER=90DEG - ZMIN=-5.5 - SPOT DRILL
6  ; T2 D=6 CR=0 TAPER=118DEG - ZMIN=-14.303 - DRILL
7  ; T3 D=5 CR=0 TAPER=118DEG - ZMIN=-42.5 - DRILL
8  : G90 G40 G94
9  G17
10 G71
11 M26
12 ; SPOTDRILL - SPOTDRILL DRILL
13 M26
14 :T1 M6
15 M26
16 :T2
17 S10000 M3
18 H0
19 M10
20 M50
21 G0 C0.
22 M11
23 M51
24 M8
25 G0 X-90.933 Y52.5
26 Z15
27 G17
28 G0 Z5
29 G98 G81 X-90.933 Y52.5 Z8 R2.5 W5 F30
30 X0 Y105 W5
31 X90.933 Y52.5 W5
32 Y-52.5 W5
33 X0 Y-105 W5
34 X-90.933 Y-52.5 W5

C:\Users> ustim > AppData > Local > Fusion 360 CAM > nc > 1003.nc
35 G80
36 Z15
37 M9
38 M5
39 M26
40 ; DRILL - SPOTDRILL DRILL
41 M1
42 M26
43 :T2 M6
44 M26
45 :T3
46 S4850 M3
47 H0
48 M10
49 M50
50 C0.
51 M11
52 M51
53 G0 X-90.933 Y52.5
54 Z15
55 G17
56 G0 Z5
57 G83 X-90.933 Y52.5 Z16.803 R2.5 W5 J11 K1.5 F728
58 X0 Y105 W5
59 X90.933 Y52.5 W5
60 Y-52.5 W5
61 X0 Y-105 W5
62 X-90.933 Y-52.5 W5
63 G80
64 Z15
65 M5
66 M26
67 ; DRILL3
68 M1
69 M26

C:\Users> ustim > AppData > Local > Fusion 360 CAM >
72 :T1
73 S5000 M3
74 H0
75 M10
76 M50
77 C0.
78 M11
79 M51
80 M8
81 G0 X0 Y90
82 Z15
83 G17
84 G0 Z5
85 G81 X0 Y90 Z20 R-22.5 W5 F333
86 Y-90 W5
87 G80
88 Z15
89 ; DRILL4
90 H0
91 G0 X-77.942 Y-45
92 Z15
93 Z5
94 G81 X-77.942 Y-45 Z17 R-22.5 W5 F333
95 Y45 W5
96 X77.942 W5
97 Y-45 W5
98 G80
99 Z15
100 M9
101 M26
102 G0 X0 Y0
103 M30
104 M2
105

```

Рис. 7.5 – Приклад згенерованого G-коду

Таким чином отримано дані для проведення обробки бази основи маніпулятора на верстаті з ЧПК. Таким самим чином може бути створена керуюча програма для виготовлення інших компонентів. Було використано різні налаштування та верстати, тому маємо декілька керуючих програм під кожне налагодження.

## 8 СИМУЛЯЦІЯ В CAD/CAM СИСТЕМАХ

Для аналізу перевірки конструкції різальної головки на стійкість, прикладемо навантаження в середовищі Autodesk Fusion 360.

Для початку зафіксуємо елементи конструкції (рис. 8.1), які не є предметом дослідження.

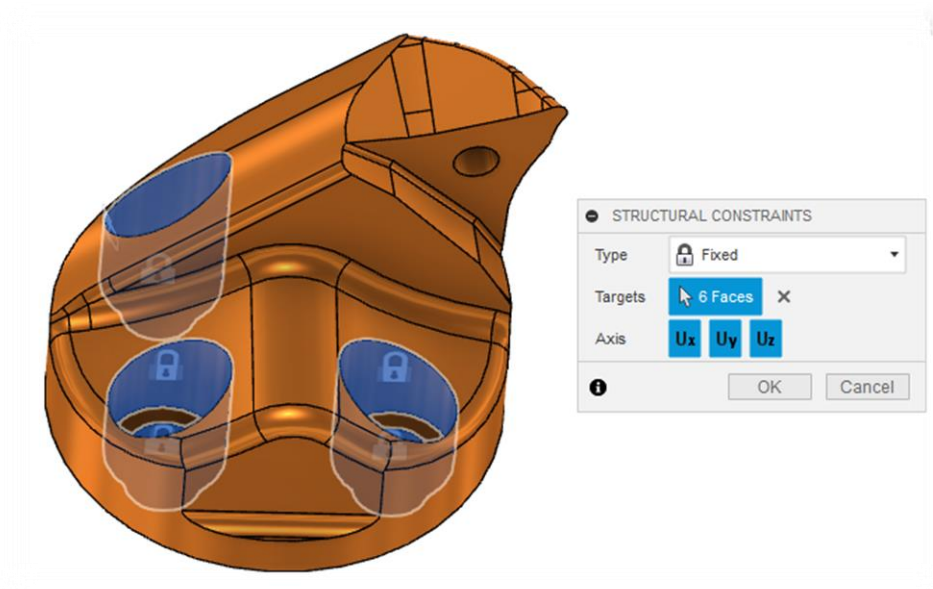


Рис. 8.1 – Фіксація елементів конструкції

Навантаження будемо прикладати з розрахованих раніше режимів різання (п. 3.3). Отже розрахункова сила становить 392 Н, приймемо 400 Н.

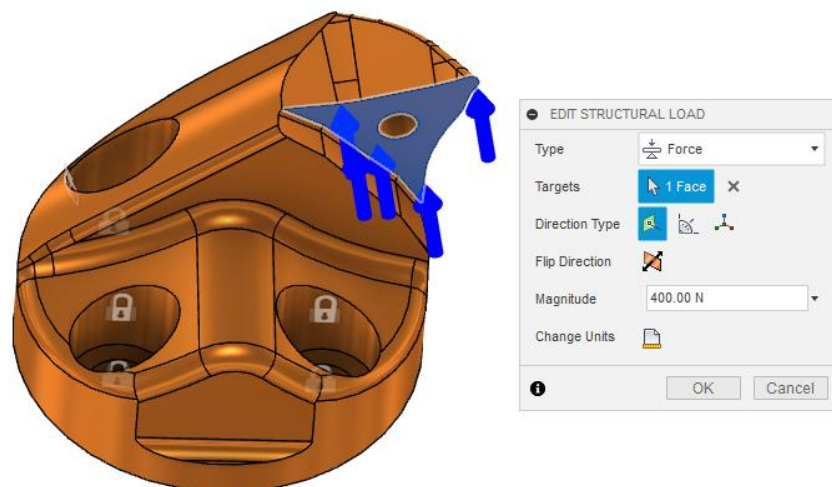


Рис. 8.2 – Прикладання навантажень

Проводимо симуляцію спочатку «Pre-check», а потім «Solve». Отримуємо зображення навантажень розподілених по деталі (рис. 8.3). Бачимо, що для конструкції такі навантаження незначні, на градації показано, що коефіцієнт запасу міцності становить понад 7.

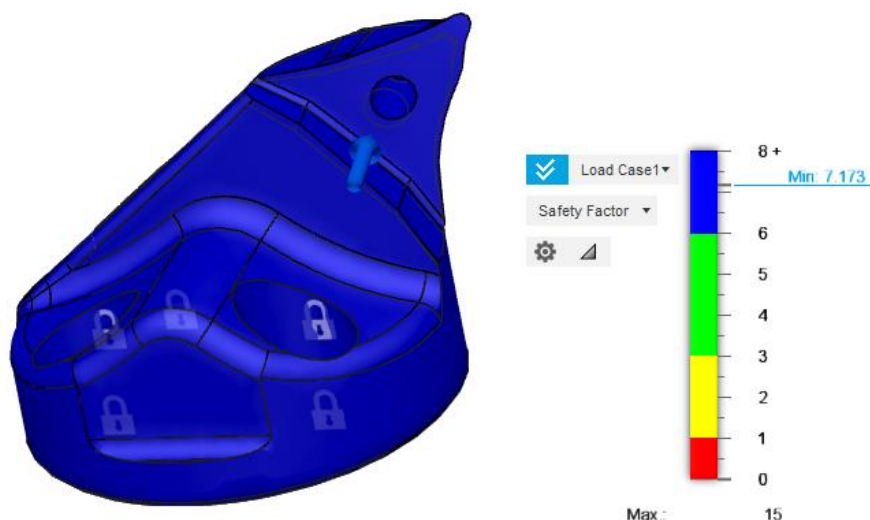


Рис. 8.3 – Результат симуляції

Зробимо ще одну перевірку, збільшимо навантаження у 6 разів, до 2,5кН (рис.8.4). Бачимо, що конструкція витримує дане навантаження, але вже запасу міцності майже нема, лише 14% (рис. 8.5).

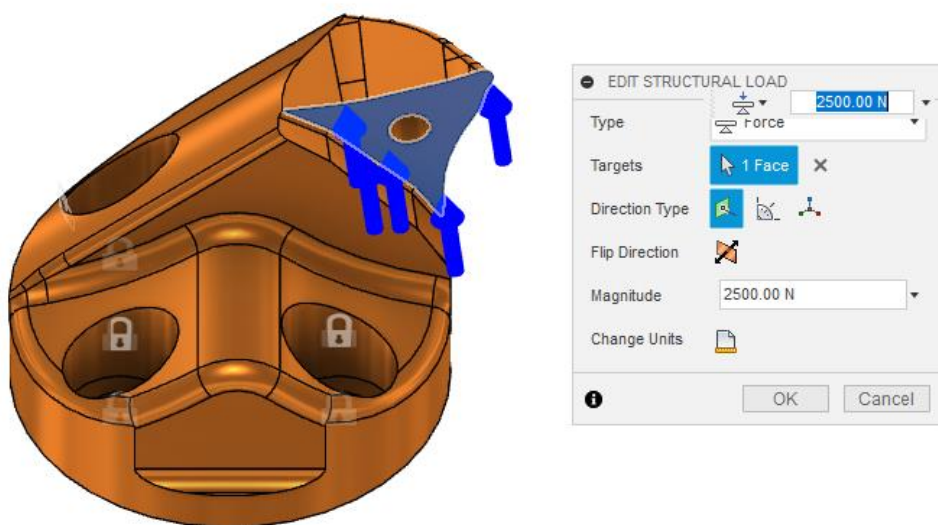


Рис. 8.4 – Прикладання більшого навантаження

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

83

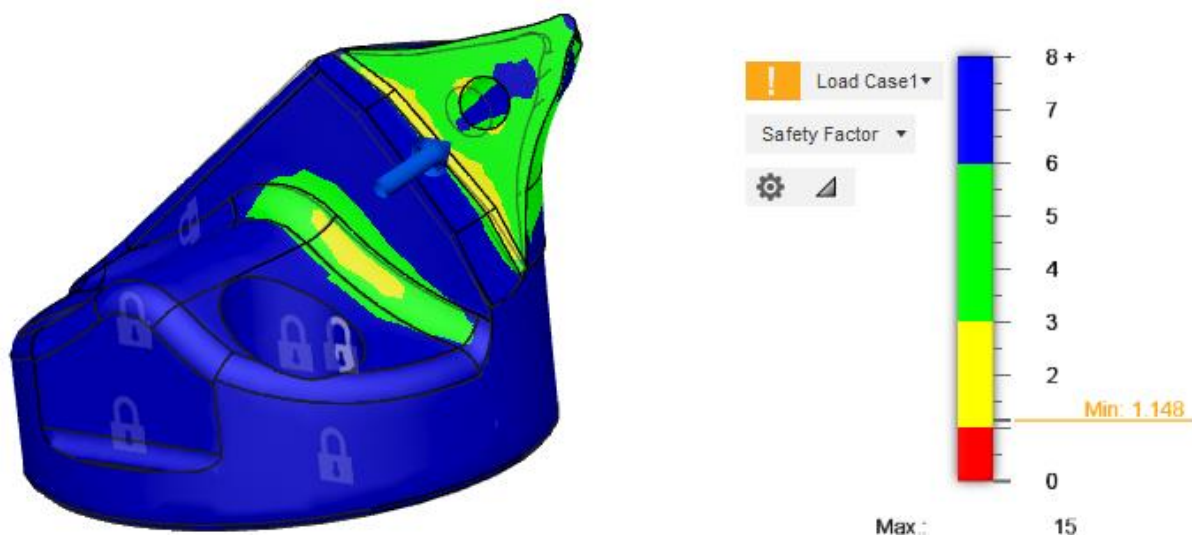


Рис. 8.5 – Результат другої симуляції

Отже, в результаті дослідження та проведених симуляцій в Fusion 360, можна сказати, що при розрахованих навантаженнях конструкція не руйнується та не зазнає ніяких деформацій. При повторному аналізі з більшим навантаженням конструкція також не зазнала деформації, це говорить про те, що конструкція може бути використана не тільки для обробки АМг 5, але й для більш твердих матеріалів, в яких оброблювальні операції мають значно вищі значення сил. Таким чином, можна стверджувати, що даний інструмент є придатним для роботи в даних умовах.

## 9 СТВОРЕННЯ ПРОТОТИПУ НА 3D ПРИНТЕРІ

Маючи 3D моделі складових елементів спроектованої збірної різальної головки, можемо їх надрукувати на 3D принтері. Для початку потрібно зберегти перевести моделі з формату .ipt в формат .stl, оскільки саме формат .stl розпізнають принтери.

Почнемо з головного елементу конструкції – корпусу (рис. 9.1).

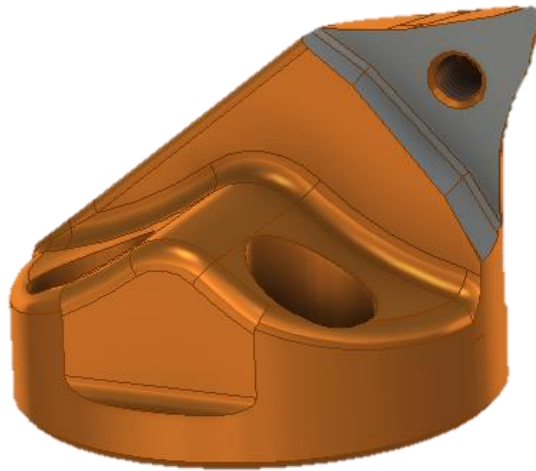


Рис. 9.1 – Корпус різальної головки

Для переведення в потрібний формат в Autodesk Inventor потрібно виконати наступне «Файл – Експорт – В форматі САПР – вибрати формат .stl – підібрати параметри для stl-файлу (рис. 9.2)».

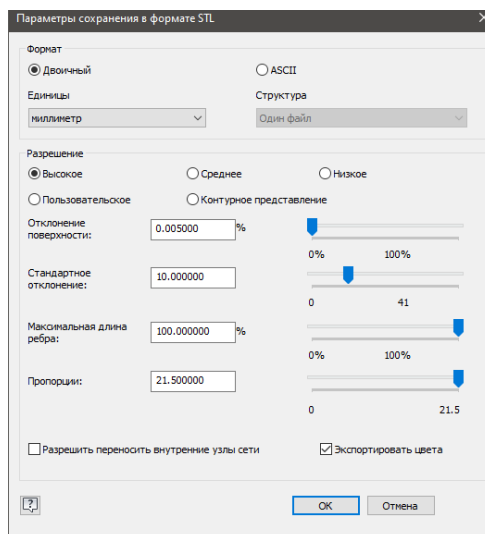


Рис. 9.2 – Створення .stl файлу

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Обравши всі необхідні параметри документу отримаємо документ, який є поверхнею корпусу інструмента.

Наступним буде створення програми для 3D принтера. Будемо використовувати програму Ultimaker Cura 4.6. Імпортуємо наші моделі в середовище та налаштовуємо принтер (рис. 9.3) для подальшої його роботи. Вибираємо налаштування по заповненню моделі пластиком (рис. 9.4) та проводимо нарізку на шари (рис. 9.5).

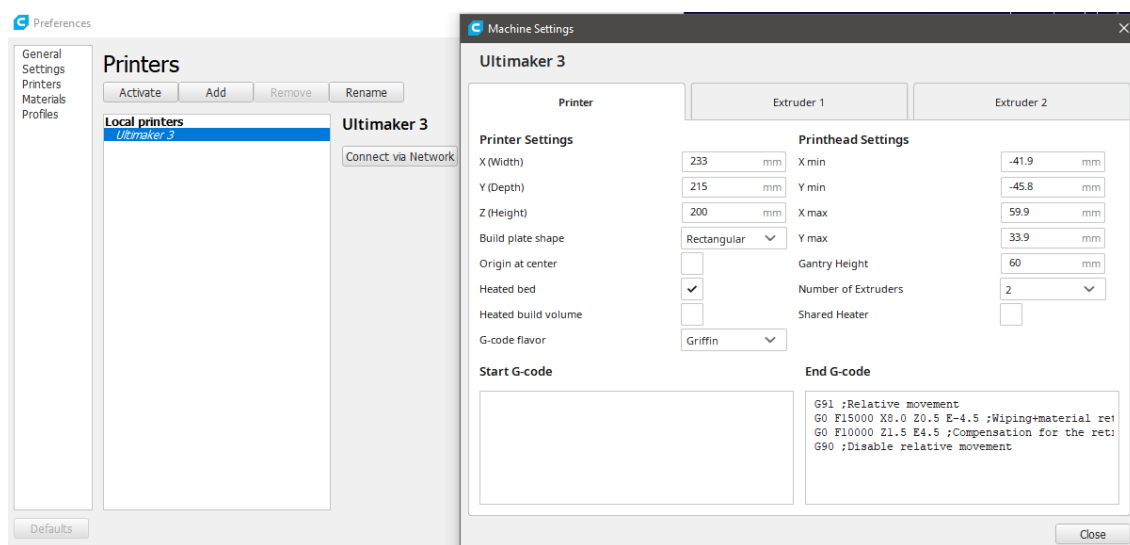


Рис. 9.3 – Налаштування 3D принтера

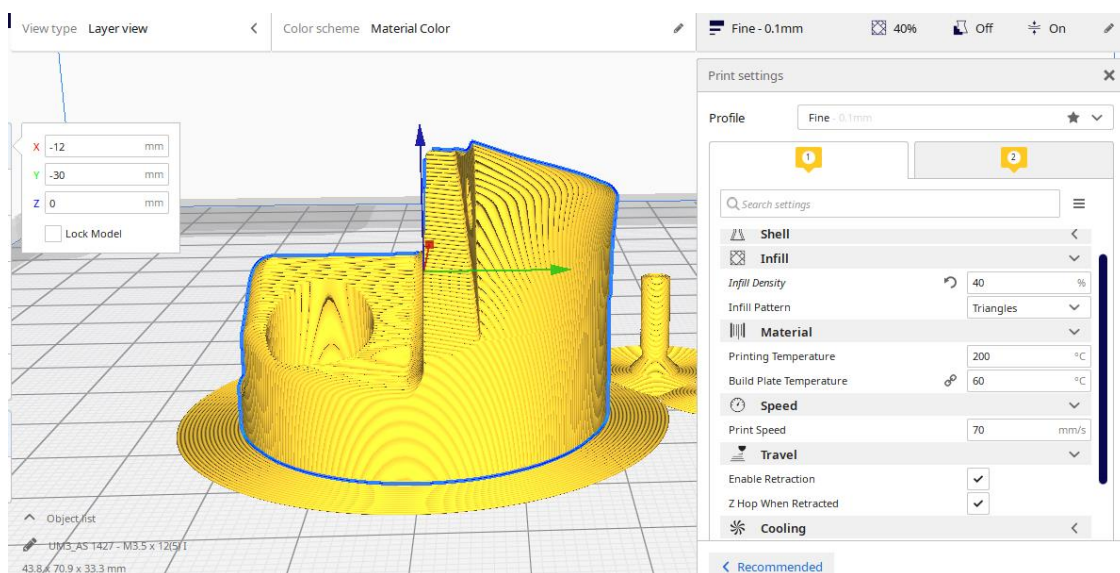


Рис. 9.4 – Налаштування заповнення деталі





Отримані дані дозволять створити реальний прототип на 3D принтері з використанням обраного матеріалу.

Таким чином, було отримано прототип (рис. 9.7) різальної головки. Разом надруковано елементи конструкції, які потім будуть використанні для демонстрації.



Рис. 9.7 – Надрукований прототип різальної головки



## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Надзвичайно важливим питанням в наш час є дослідження космосу, планет, зірок. Для кращого вивчення, створюються різноманітні роботи, які збирають інформацію рухаючись по різних місцевостях. Є необхідність в постійному розвитку, покращенню конструкцій та технологій таких роботів-маніпуляторів.

Результатом роботи є створення основи маніпулятора з можливістю швидкої заміни внутрішньої зубчастої поверхні. Було розроблено конструкцію основи маніпулятора, зі змінним внутрішнім зубчастим колесом. Було розроблено різальний інструмент для обробки бази основи маніпулятора та розраховано режими роботи для його виготовлення, припуски на оброблення поверхонь.

Було створено пристосування для оброблення інструменту на верстаті з ЧПК з мінімальними похибками. Було створено керуючі програми для обробки створеного інструменту на верстаті з ЧПК та для 3D принтера, для друку прототипів. Було проведено аналіз навантажень на інструмент.

В результаті було створено прототип, надрукований на 3D принтері, який можна використовувати для презентації.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Навчальний посібник з дисципліни Маніпулятори та промислові роботи. Для студентів бакалаврів., спеціальності: 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування. Укладачі: Махайлов Є. П., Лінгур В. М. – Одеса: ОНПУ, 2019.-233 с.
2. Захоплювальні пристрої промислових роботів: Навчальний посібник . – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя, 2008. – 232с.
3. Субота Д. Ю. Схвати мобільних роботів для маніпулювання небезпечними об'єктами: магістр. дис. 15.03.2018 Субота Дмитро Юрійович 2018 – 84 с.
4. Технологія оброблення зубчастих коліс. Навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія». Укладачі: Ю.Є. Паливода, Ю.Б. Капаціла, І.Г. Ткаченко, 2016. -136 с.
5. Родина Б.Р. Головка універсальна розточна: бакалавр. проєкт 30.05.2019. Родина Богдан Романович 2019 – 57 с.
6. Кравченко В. А. Головка розточна з двома різцями для великих діаметрів: бакалавр. проєкт 30.05.2019. Кравченко Вадим Андрійович 2019 – 69 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя, том 1, под редакцией Косиловой А.Г., Мещерякова Р.П. Издание 4-е, перераб. и доп. Москва, "Машиностроение", 1986.
8. Режимы резания металлов: Справочник/Ю.В. Барановский, Л.А. Брахман, А.И. Гдалевич и др. – М.: НИИТавтопром. 1995. – 456 с.
9. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т. /Ред. совет: Б. Н. Вардашкин (пред.) и др. — М.: Машиностроение, 1984. — Т. 1 /Под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова, 1984. 592 с, ил.

					ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

## ДОДАТКИ

### Додаток А – Запрошення на участь в European Rover Challenge

*М.І. Бобирю*  
*В.А. Пасічник*  
*пропонується*

**ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ**  
вул. Мухомовська, 8, м. Київ, 01010; тел. (044) 281 6200, факс. (044) 281 6209; E-mail: [ud@ukrau.gov.ua](mailto:ud@ukrau.gov.ua)

На № 01.2018 від 20.01.18

Национальний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Национальний авіаційний університет

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара

Щодо участі у European Rover Challenge

Інформуємо, що в період з 14 по 16 вересня 2018 року в Польщі відбудеться змагання European Rover Challenge (ERC).

ERC – це програма, спрямована на технологічний розвиток, зокрема в галузі вивчення та використання космічного простору. ERC координується Європейським космічним фондом та організоване у співпраці з групою незалежних експертів. Mars Society Polska є партнером програми.

Головною подією ERC є змагання студентів та нещодавніх випускників вищих навчальних закладів з усього світу (ERC-Student track). В ході ERC-Student команди створюють роботів, щоб конкурувати в завданнях, натхненних міжнародними дорожніми картами з питань космічної робототехніки.

Правила участі у зазначеному змаганні розміщено за посиланням <http://roverchallenge.eu/en/rules-2/>.

Заступник Голови *В.С. Міхеев*

Цимбал Г.А.  
281-62-88

КПІ ім. Ігоря Сікорського  
Вх. № 0001/206  
«17» 01 2018р.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

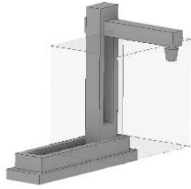
ДП.МІ-61118.00.000.ПЗ

Арк.

91

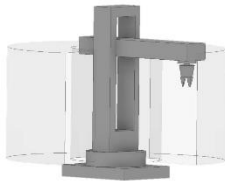
## ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ МАНІПУЛЯТОРІВ

# МАНІПУЛЯТОР З ДЕКАРТОВОЮ РОБОЧОЮ ЗОНОЮ



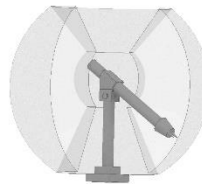
- + простота конструкції
- + менша маса
- + простота керування
- обмеженість траєкторії руху
- не обходить перешкоди

### 3 ЦИЛІНДРИЧНОЮ РОБОЧОЮ ЗОНОЮ

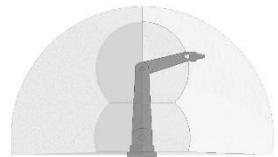


- + простота конструкції
- + менші затрати енергії
- + менша маса
- + простота керування
- мала траєкторія руху
- не обходить перешкоди

# МАНІПУЛЯТОР ЗІ СФЕРИЧНОЮ РОБОЧОЮ ЗОНОЮ

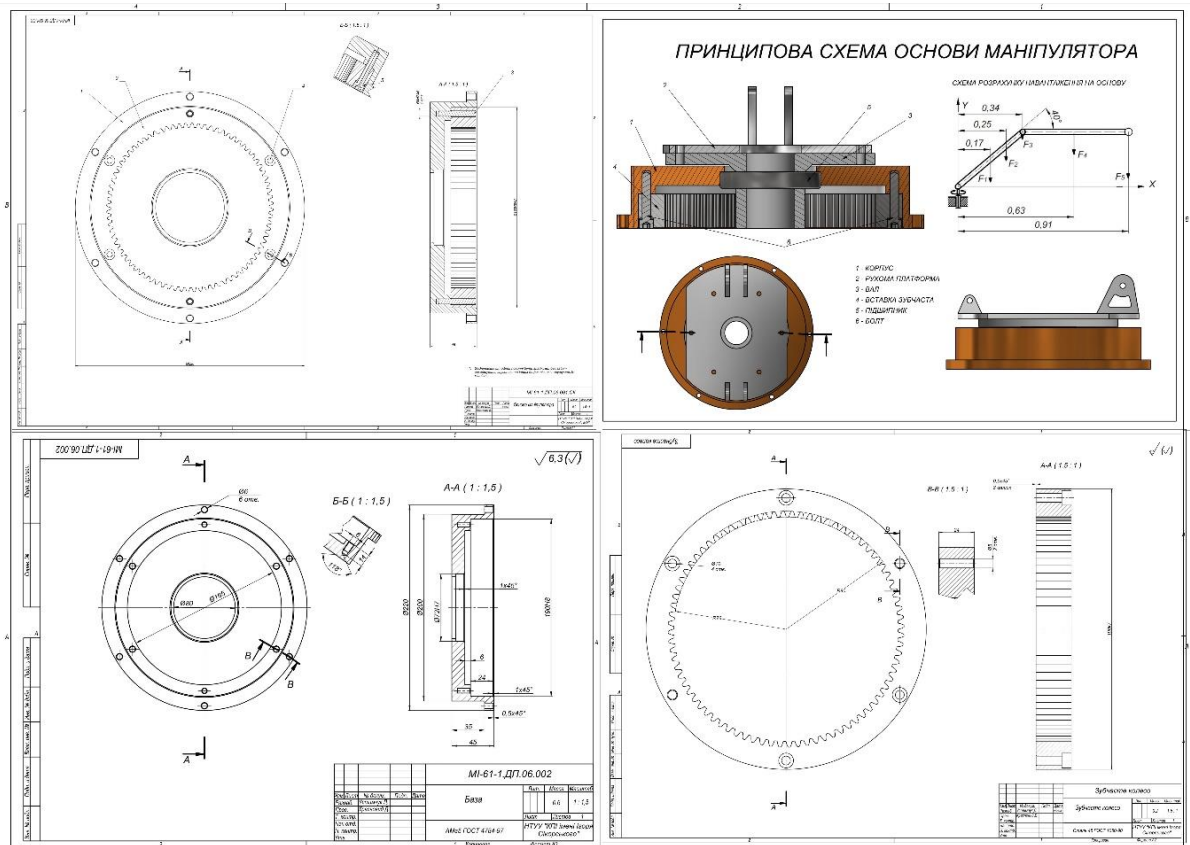


- + захват рухатись вперед-назад
- + велика робоча зона
- + обходити перешкоди
- обмеженість траєкторії руху
- складність керування
- висока ціна

АНГУЛЯРНИЙ ТИП  
МАНІПУЛЯТОРА

- + простота керування
- + схожий на руку людини
- + більша робоча зона
- + гарно обходить перешкоди
  
- більша маса
- складність керування
- висока ціна

# СУЧАСНІ КОНСТРУКЦІЇ МАНІПУЛЯТОРІВ



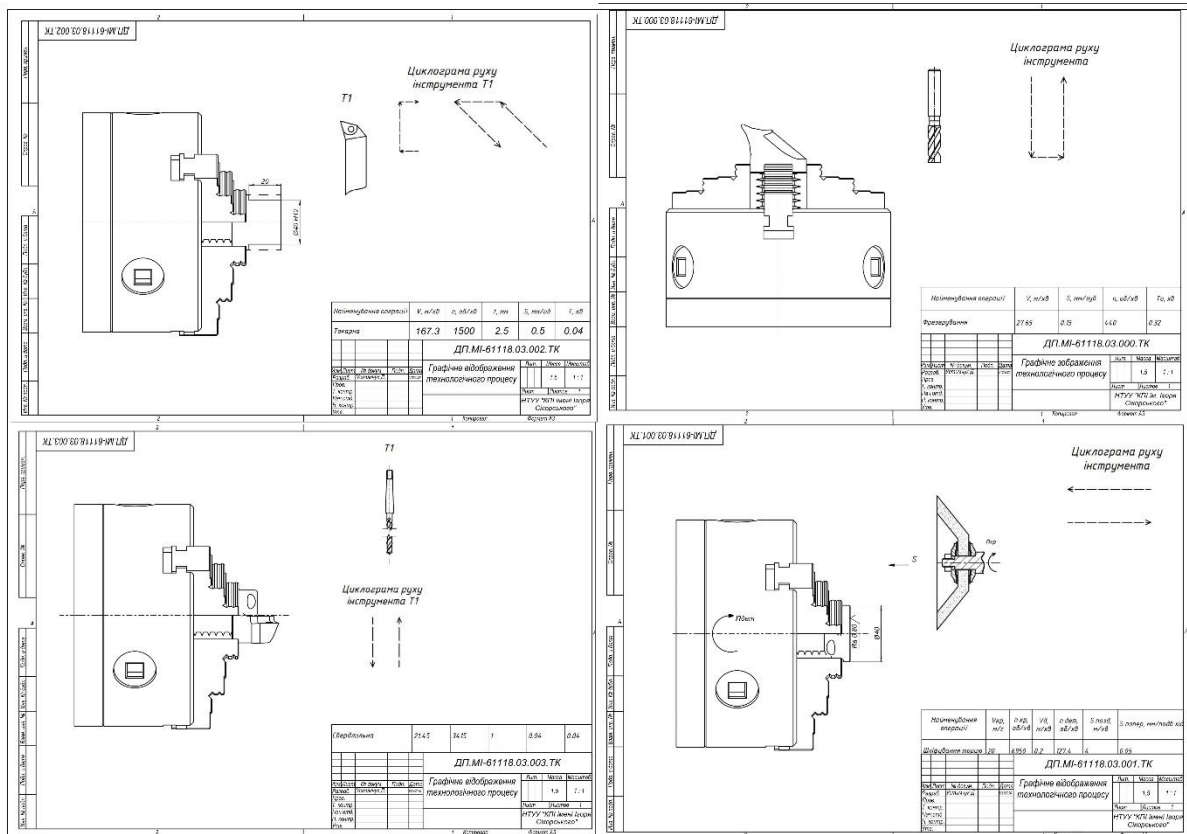


## ОГЛЯД ІНСТРУМЕНТІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ОСНОВИ МАНІПУЛЯТОРА

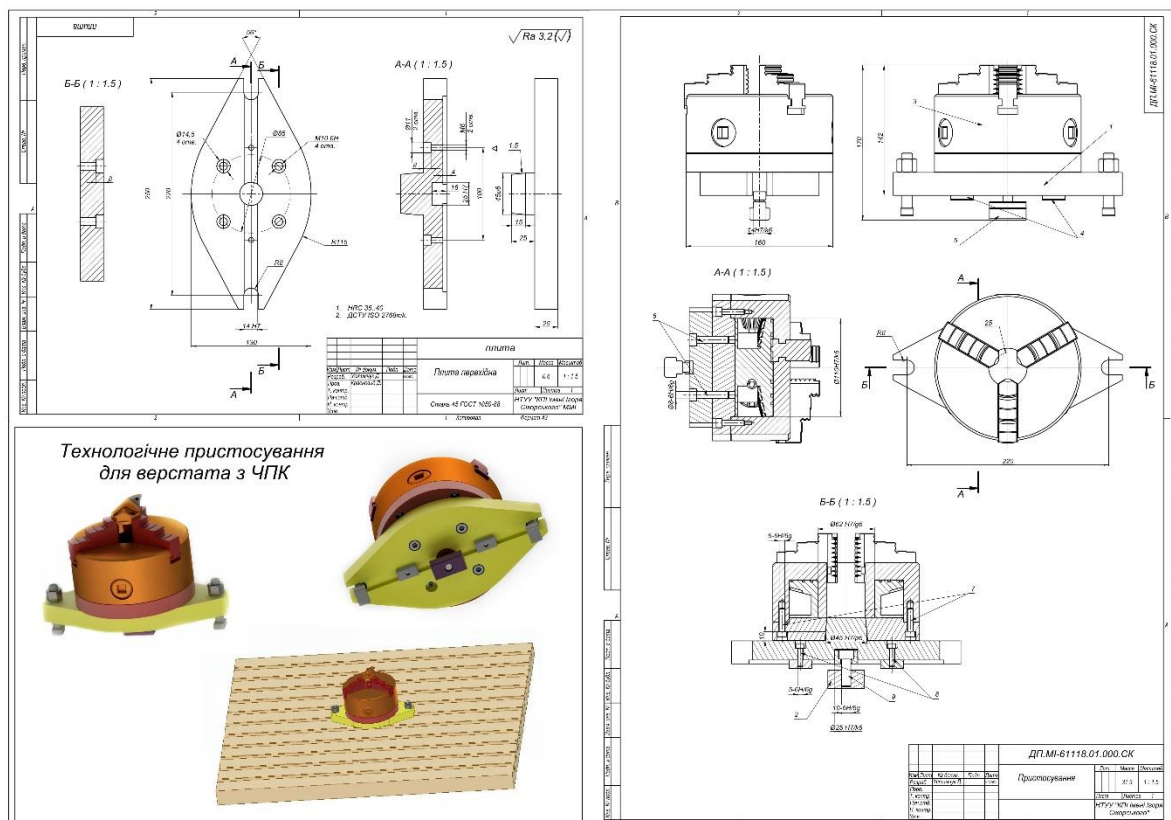
<p><b>РОЗ'ЄМНА РОЗТОЧНА ГОЛОВКА ISCAR BHF MB50-MB80</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>+ВИСОКА ЖОРСТКІСТЬ</li> <li>+МИКРОМЕТРИЧНА ПОДАЧА</li> <li>+ВИСОКА ТОЧІСТЬ ОБРОБКИ</li> <li>-ШВИДКЕ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОЇ ПЛАСТИНИ</li> <li>-ВСТАНОВЛЕННЯ ОДНОГО РІЗЦЯ</li> </ul>	<p><b>ЦІЛЬНА РОЗТОЧНА ГОЛОВКА SUMISMAALL CKB R</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>+ДІАПАЗОН ДІАМЕТРІВ</li> <li>+МЕХАНІЧНЕ КРІПЛЕННЯ ПЛАСТИНИ</li> <li>+КВАДРАТНА ФОРМА ДЕРЖАВКИ</li> <li>+ПРОСТОТА КОНСТРУКЦІЇ</li> <li>-ШВИДКЕ ЗНОШУВАННЯ</li> <li>-СКЛАДІСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗАКРІПЛЕННЯ</li> </ul>	<p><b>РОЗТОЧНА ГОЛОВКА ISCAR TCH AL 800</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>+МОЖЛИВІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ ДВОХ РІЗЦІВ</li> <li>+ДІАПАЗОН ДІАМЕТРІВ</li> <li>+ВСТАНОВЛЕННЯ НА ДІАМЕТР БЕЗ ПЕРЕУСТАНОВКИ</li> <li>-ПІДВИЩЕННЯ ВІБРАЦІЇ</li> </ul>
<p><b>ЦІЛЬНА РОЗТОЧНА ГОЛОВКА SANDVIK COROBORE BR30</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>+МОЖЛИВІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ ТРЬОХ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН</li> <li>+ЗМІННІ ТВЕРДОСПЛАВНІ ПЛАСТИНИ</li> <li>+ВИСОКА ЕФЕКТИВНІСТЬ</li> <li>+ШВИДКА ЗАМІНА ПЛАСТИН</li> <li>-ОБМЕЖЕНИЙ ДІАПАЗОН ДІАМЕТРІВ</li> <li>-СКЛАДІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ</li> </ul>	<p><b>РОЗТОЧНА ГОЛОВКА SANDVIK C4-266RFGZ</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>+ДІАПАЗОН ДІАМЕТРІВ</li> <li>+ВИСОКА ПРОДУКТИВНІСТЬ</li> <li>+ЗМІННІ РІЗАЛЬНІ ПЛАСТИНИ</li> <li>+МЕХАНІЧНЕ КРІПЛЕННЯ ПЛАСТИН</li> <li>-ШВИДКЕ ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОЇ ПЛАСТИНИ</li> <li>-ОДНА РІЗАЛЬНА ПЛАСТИНА</li> </ul>	<p><b>РОЗТОЧНА ГОЛОВКА SANDVIK COROTURN PRIME SL</b></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>+ДІАПАЗОН ДІАМЕТРІВ</li> <li>+МЕХАНІЧНЕ КРІПЛЕННЯ ПЛАСТИН</li> <li>+ВИСОКА ПРОДУКТИВНІСТЬ</li> <li>+ЗМІННІ РІЗАЛЬНІ ПЛАСТИНИ</li> <li>+ШВИДКА ЗАМІНА ПЛАСТИН</li> <li>+НОВА ТЕХНОЛОГІЯ РІЗАННЯ "PRIME TURNING"</li> <li>+ВИСОКА ТОЧІСТЬ ОБРОБЛЕННЯ</li> <li>-ОДНА РІЗАЛЬНА ПЛАСТИНА</li> <li>-ШВИДКЕ ЗНОШУВАННЯ ПЛАСТИНИ</li> </ul>

ХТ 000 P081118-00 LBT

# Додаток Д – Лист 5



# Додаток Е – Лист 6



**Перше налагодження  
Токарний верстат HAAS CL-1**

### Створення програми оброблення на верстаті з ЧПК

**Операції третього налагодження  
Фрезерний верстат HAAS DT-2**

**Друге налагодження  
Токарний верстат HAAS CL-1**

**Операції першого налагодження  
Токарний верстат HAAS CL-1**

**Операції другого налагодження  
Токарний верстат HAAS CL-1**

**Операції третього налагодження  
Фрезерний верстат HAAS DT-2**

**Фрагмент G-коду**

```

1 (POP, NAME="1001")
2 ; MACHINE
3 ; VECTOR AUTODESK
4 ; DESCRIPTION GENERIC HELL-TURN LATHE
5 ; T1 D=0 CR=0 TAPER=0DEG - ZMIN=-5.5 - SPOT DRILL
6 ; T2 D=0 CR=0 TAPER=110DEG - ZMIN=-14.303 - DRILL
7 ; T3 D=5 CR=0 TAPER=110DEG - ZMIN=-42.5 - DRILL
8 ; G00 G40 G04
9 G17
10 G71
11 M06
12 ; SPOTDRILL - SPOTDRILL DRILL
13 M06
14 ;T1 M6
15 M06
16 ;T2
17 S10000 M5
18 M0
19 M06
20 M06
21 G0 CR.
22 M11
23 M01
24 M0
25 G0 X=90.933 Y=2.5
26 Z15
27 G17
28 G0 Z5
29 G00 G81 X=90.933 Y=2.5 Z8 R2.5 M5 F30
30 M0 Y185 M5
31 X90.933 Y=2.5 M5
32 Y=2.5 M5
33 M0 Y=185 M5
34 X=90.933 Y=2.5 M5
35 G00
                    
```

### ПЕРЕВІРКА КОРПУСУ НА СТІЙКІСТЬ ДО НАВАНТАЖЕННЯ

Фіксація елементів конструкції, які в експерименті не піддаються.

Прикладання навантаження

Симуляція. Коефіцієнт запasu міцності становить 7.17

Прикладання навантаження

Симуляція. Коефіцієнт запasu міцності становить 1.15

В результаті навантаження системи було встановлено, що під навантаженням 400 Н на різальний елемент, зміщення є незначним і становить 0,006 мм. Зміщення при повторному навантаженні в 2,5 кН також є незначним.

### ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОТОТИПУ НА 3D-ПРИНТЕРІ

Створення моделей інструмента та керуючої програми

Створення 3D-моделей елементів інструмента

Вибір та налаштування 3D-принтера

Нарізка на шарі, імітація друку

РЕЗУЛЬТАТ ВИКОНАННЯ - ДРУКОВАНА МОДЕЛЬ РІЗАЛЬНОЇ ГОЛОВКИ

На зображенні показано результат друку на 3D принтері, надрукований елемент конструкції різальної головки. Різальна частина, корпус. Дані програми було створено для подальшої асиметричної копії.

